

Olga Merz
Wissenschaft – Technik – Bildung

Olga Merz

Wissenschaft – Technik – Bildung

Eine bildungsorientierte Reflexion
des digitalen Wandels in den Wissenschaften

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnetet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

Der vorliegende Band wurde im Jahr 2024 von der Fakultät I der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg als Dissertation unter dem Titel „Technik als Methode der Erkenntnisarbeit – eine bildungsorientierte Reflexion des digitalen Wandels in den Wissenschaften“ angenommen.

Für Michael, Annabelle und Nova

ISBN 978-3-96848-172-2

Titelbild: Midjourney

Druck: docupoint, Barleben

© kopaed 2025
Arnulfstr. 205, 80634 München
Fon: 089. 688 900 98 Fax: 089. 689 19 12
e-mail: info@kopaed.de Internet: www.kopaed.de

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung in das Forschungsproblem	7
1.1 Problemaufriss und Forschungsfrage	7
1.2 Wissenschaft, (digitale) Technik, Bildung – einführende Begriffs- und Verhältnisbestimmungen	10
1.3 Methodologisch-theoretische Einordnung und Aufbau der Studie.....	26
2. Technik als Mittel und Möglichkeitsraum	35
2.1 Technik als Mittel, Infrastruktur, Bildung und Agency	35
2.2 Technik als Dekontextualisierung und Bestimmtheit.....	47
2.2.1 Technisierung als Fixierung, Formalisierung und Ablösbarkeit	47
2.2.2 Leistung ohne Einsicht – technische Expertensysteme als Blackboxes	51
2.3 Technik als Möglichkeitsraum und Unbestimmtheit.....	59
2.3.1 Zur Ambivalenz der Technik.....	59
2.3.2 Technik als Medium	66
2.4 Struktur, Affordanz und Performativität als Reflexionsbegriffe	75
3. Zur Ambivalenz digitaler Technik	83
3.1 Maschinen im Spannungsfeld von Struktur und Handlungsspielraum.....	83
3.2 Digitale Objekte zwischen Begrenzung und Möglichkeitsraum	92
3.3 Algorithmen zwischen Bestimmtheit und Unbestimmtheit	107
3.4 Interfaces zwischen Greifbarkeit und Ausschluss	125
4. Technik und Methode als Bildung der Wissenschaften	131
4.1 Zum bildenden Charakter der Methode.....	131
4.2 Technik als Bildung der Wissenschaften	143
5. Generische und generative Forschungstechnik – der digitaltechnische Erkenntnisraum zwischen Struktur und Experimentalraum	149
5.1 Generizität – digitale Technik als Allgemeines und Struktur.....	150
5.1.1 Generische Erkenntnisobjekte	150
5.1.2 Generische (digitale) Forschungstechnik	154
5.1.3 Generische Opazität.....	161
5.1.4 Generische Vernetzung	169
5.1.5 Generische Methodologie.....	182

5.2 Generativität – produktive Formen der Erkenntnisarbeit innerhalb des digitaltechnischen Allgemeinen	189
5.2.1 Vom Datum zum Spiel.....	190
5.2.2 Vom Datum zum Muster.....	193
5.2.3 Vom Datum zum ‚Sinn‘	201
5.2.4 Vom Datum zum Protein	224
5.2.5 Vom Datum zum Bild	230
5.2.6 Vom Datum zur Simulation	239
5.3 Zur Epistemologie digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit – Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse	255
5.3.1 Epistemische und technische Dinge	255
5.3.2 Digitaltechnische Erkenntnisräume zwischen Fixierung und Experimentalraum	261
6. Orientierung innerhalb des digitaltechnischen Allgemeinen – eine wissens- und bildungstheoretische Einordnung.....	277
6.1 Vom Widerspruch zur produktiven Verwicklung	277
6.1.1 Zum Widerspruch von Bildung und Herrschaft	277
6.1.2 Von der Kompetenz zur reflektierten Sachkompetenz.....	283
6.2 Erfahrung als Orientierungssinn	300
6.2.1 Implizites Wissen und seine Bedeutung für die Technikreflexion	300
6.2.2 Entwicklung eines „Kennerblicks“ und Reflexion als “inquiry”	310
6.3 Wegmarken einer Orientierung in der digitalen Welt	323
6.3.1 Reflektierte Eingriffe als Orientierungsmöglichkeit	323
6.3.2 Unbestimmtheit und Scheitern als Reflexionsanlässe	327
6.3.3 Ästhetische Erfahrung, Spiel und Konstruktion als technikimmanente Reflexion.....	331
7. Technikbildung als Verzögerung	349
Abbildungsverzeichnis	353
Literaturverzeichnis	353

1. Einführung in das Forschungsproblem

1.1 Problemaufriss und Forschungsfrage

Stephane BANCEL, CEO von Moderna, dem Unternehmen, das zusammen mit dem Mainzer Unternehmen Biontech zu den ersten gehörte, das im Winter 2020 einen Impfstoff gegen das Coronavirus auf den Markt brachte, beschreibt in einem Podcast das Verfahren zur Herstellung des neu entwickelten *mRNA-Stoffes*. Die Genom-Sequenzierung des Virus hatte es ermöglicht, einen darauf abgestimmten Impfwirkstoff nicht mehr im naturwissenschaftlichen ‚Wet-Lab‘ heranzüchten zu müssen, sondern diesen maschinell ‚drucken‘ zu können. Dies war möglich, da es sich auch bei der DNA prinzipiell um ein *digitales* Datenformat handelt, in der die Nukleinbasen mit den Buchstaben G, C, A, und T in einer solch diskreten Codierung vorliegen, wie sie von einer Rechenmaschine verarbeitet werden kann. War das Genom des Virus erst einmal entziffert und lag als digitale Kopie vor, war es möglich, so BANCEL, den Impfstoff binnen 48 Stunden herzustellen. Das war bei Moderna bereits im Februar 2020 der Fall (vgl. Winarsky/Conde/Bancel 2020).¹ Als Konsequenz lässt sich künftig „jedes biologische Problem als Datenproblem [...], jede Krankheit als Bug, jeder biologische Wirkstoff als Algorithmus“ beschreiben, prognostiziert der Spiegel-Kolumnist Sascha LOBO und folgert daraus: „Mithilfe künstlicher Intelligenz und Methoden wie etwa dem Botenmolekül mRNA wiederholen sich die technologischen und marktseitigen Entwicklungen der Digitalisierung in der Biologie, allen voran die Möglichkeiten der Individualisierung, also auf Einzelpersonen zugeschnittene Medikamente“ (Lobo 2021, o. S.) – eine immense Herausforderung für staatliche Regulierungsaufgaben.

Das Beispiel zeigt, dass Forschung und Wissensproduktion innerhalb digitaltechnischer Strukturen immense neue Potentiale, aber auch Problemlagen eröffnet. Zu letzteren gehört nicht nur die Frage, wo genau die Grenze zwischen *wissenschaftlicher* Forschung und industrieller Produktion gezogen werden kann und ob es diese überhaupt noch gibt. Von Interesse ist insbesondere die Frage, welche Folgen die Synthesierung von Wissensbeständen im ‚Computerlabor‘ für die Genese von überprüfbarem Wissen und die Art und Weise, wie Menschen zu Erkenntnissen gelangen, hat – eine Frage, der in der vorliegenden Studie im Kontext der Frage nach dem „digitalen Wandel in den Wissenschaften“ (DFG 2020, S. 4) nachgegangen wird. Ziel ist es, daran anknüpfend zu analysieren, welche Konsequenzen daraus für die Frage nach Orientierungs- und Bildungsprozessen „in der digitalen Welt“ (KMK 2017) resultieren.

Die in der vorliegenden Studie intendierte Auseinandersetzung mit dem digitalen Wandel in den Wissenschaften steht dabei in der Tradition der Wissenschaftsforschung, die sich mit der Frage beschäftigt, wie Wissenschaft heute „zu Wissen kommt“ (Hug 2001) bzw. wie „Wissenschaft Wissen schafft“ (Brühl 2021), und welche Bedeutung dabei der

¹ Die restliche Zeit bis zur Freigabe wurde für „Test- und Zulassungsroutinen“ benötigt (Lobo 2021, o. S.).

digitalen Technik zukommt. Die Frage danach, was Wissenschaft überhaupt ist, wird seit ihren Anfängen im griechischen Denken gestellt und bis heute unterschiedlich beantwortet. Die landläufigste und nach wie vor prominente Vorstellung sieht Wissenschaft dabei stellvertretend für die Suche nach *Wahrheit*, also das Streben danach, durch wissenschaftliches Handeln wahre Aussagen als sicheres und repräsentatives Wissen über die Welt generieren und „beweisen“ zu können – und das im Vergleich zum Alltagswissen bzw. nicht-wissenschaftlichen Wissensformen auf *systematische* (vgl. u. a. Hoyningen-Huene 2016)² und damit in der Regel *methodisch* fundierte Art und Weise. So definierte beispielsweise das Bundesverfassungsgericht in seiner Auslegung des Artikels 5 GG zur *Wissenschaftsfreiheit* im sogenannten *Hochschul-Urteil* aus dem Jahr 1973 Wissenschaft als „alles, was nach Inhalt und Form als ernsthafter planmäßiger Versuch zur Ermittlung der Wahrheit anzusehen ist“ (BVerfG 35, 79 1973; vgl. auch Alemann 1994, S. 76).

Zu dieser planmäßigen, methodischen und systematischen Form der Wahrheitssuche gehört seit den Anfängen des zeitgenössischen Wissenschaftsverständnisses in der frühen Neuzeit aber auch der Einsatz *technischer Mittel*. Denn während Wahrheit sich nach scholastischer Auffassung dem Erkenntnissuchenden im „Staunen“ über die Natur noch mehr oder weniger von selbst zu erkennen gibt, etabliert sich zu Beginn der Neuzeit die Vorstellung, Erkenntnis könne nur durch „Arbeit“, nämlich durch die eigene „forschende[...] Neugier“ (Gramelsberger 2010, S. 43) hervorgebracht werden sowie durch die Entwicklung entsprechender technischer Mittel, um dieser Neugier nachgehen zu können. Das Paradigma der *Arbeit* ist in diesem Zusammenhang von Interesse, da in der Tradition abendländischer dualistischer Vorstellungen insbesondere die körperliche Arbeit in die Sphäre der „bloßen Mittel“ und damit der reflexionslosen Gebrauchsverbindungen fiel. Arbeit und (technische) *Mittel* repräsentierten in dieser Vorstellung das „Materielle, Empirische und Akzidentielle“, das einem *Zweck* als das „Geistige, Selbstbestimmte und Freie“ (Rohbeck 1993, S. 171) gegenübersteht. Wenn nun aber wissenschaftliche Erkenntnis über die Welt nur durch Erkenntnisarbeit (vgl. auch Baumgartner 2001, S. 311) möglich ist, erfährt das Paradigma der Arbeit eine Aufwertung – und mit diesem auch die technischen Mittel, mit deren Hilfe diese Arbeit erst möglich wird.

Deutlich werden soll im Kontext dieser Studie, dass zur Analyse eines *digitalen Wandels in den Wissenschaften* der Blick auf ebenjene technischen Mittel von entscheidender Bedeutung ist, um zeitgenössische Formen wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit zu verstehen. Das genuin Technische bzw. Digitaltechnische dieses Wandels – nicht nur in den Wissenschaften – ist daher auch das wesentliche Erkenntnisinteresse der vorliegenden Studie, die sich am *Technikbegriff* und davon ausgehend am Begriff der digitalen Technik

² Ich schließe mich dabei Paul HOYNIGEN-HUENE an, der das im deutschsprachigen Raum existierende Verständnis von Wissenschaft als eines beschreibt, das ein *möglichst breites Spektrum* von Forschungsdisziplinen umfasst. Dieses inkludiert nicht nur die Naturwissenschaften, wie im englischen *Science* konnotiert ist, sondern auch die Mathematik, Sozialwissenschaften, Geistes- und Kulturwissenschaften (vgl. Hoyningen-Huene 2016, S. 8).

abarbeitet. Das jedoch nicht, um beim Technikbegriff stehenzubleiben, sondern um festzustellen, welche Bedeutung den digitaltechnischen Mitteln und Infrastrukturen für wissenschaftliche Erkenntnisprozesse und davon ausgehend für *Bildungsprozesse* zukommt. Doch warum überhaupt der hier angestrebte bildungsorientierte Blickwinkel auf den digitalen Wandel in den Wissenschaften?

In seinem Band *Existenzweisen* erklärt Bruno LATOUR überspitzt, dass bei der Verwendung des Terminus „Epistemologie“ offenbar kein Problem bestünde, „stets eine Erkenntnis über die Erkenntnis mitzuhören“, während die „Reflexion über [...] Technik“ selten als genuiner Bestandteil des Terminus „Technologie“ gilt. So sind wir zwar stets bereit, einfache Maschinen wie Waschmaschine oder Handy als „moderne Technologie“ zu bezeichnen, erwarten von dieser jedoch „keinerlei Lektion“, genauso wenig wie erwartet werde, dass ein „Technologe“ jenseits seines Vermögens, eine Maschine zu reparieren, auch noch „eine vertiefte Reflexion“ über diese anzubieten hätte. LATOUR überspitzt diese Vorstellung, indem er ironisch formuliert, dass doch ein allgemeiner Konsens darüber herrsche, dass „die Technik nur ein Haufen bequemer und komplizierter Mittel“ sei, in der es „nichts [gäbe], um darüber nachzudenken“ (Latour 2018, S. 300). Demgegenüber werden in der vorliegenden Studie die Reflexion und Diskussion des digitalen Wandels in den Wissenschaften und dessen technischer Grundlagen als *Bildungsanlass* verstanden. Die Erziehungswissenschaftlerin Käte MEYER-DRAWE (1996) zeigt in ihrem Band *Menschen im Spiegel ihrer Maschinen*, dass Technik den Blick auf uns selbst eröffnet: Der Mensch „begreift [...] sich von seinen Maschinen her“ (Meyer-Drawe 1996, S. 99) – denken wir über sie nach, lernen wir vor allem etwas über uns selbst (vgl. Alspancar 2014, S. 18), so zum Beispiel darüber, wie wir zu neuen Erkenntnissen gelangen.

Dabei zielen sowohl wissenschaftliche Erkenntnisprozesse als auch Bildungsprozesse auf die Frage nach der „Genese des Neuen“ (Koller 2007, S. 49). Im Rahmen der vorliegenden Studie gehe ich davon aus, dass der Blick in die Erkenntnispraktiken der Wissenschaften wesentliche Einsichten auch für Bildungsprozesse liefern kann, denn im Rahmen der Genese *neuen wissenschaftlichen Wissens* innerhalb digitaltechnischer Strukturen lassen sich epistemisch bedeutsame Eigenschaften digitaler Technik und damit zusammenhängende Praktiken der Wissenschaftsschaffenden skizzieren, die auch Anknüpfungspunkte für die Entwicklung allgemeiner Erkenntnis- und Orientierungsfähigkeiten in der digitalen Welt bzw. für eine „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK 2017) liefern können. Verstehen wir Wissenschaft dabei nicht nur im Sinne des theoretisch und methodisch fundierten Fortschritts gesellschaftlich relevanter Wissensbestände, sondern auch als „Lebensform“, die menschliches Handeln unter einer spezifische „Vernunftperspektive“ stellt (Mittelstraß 1989, S. 14), so kann dem Nachdenken über Wissenschaft am Kristallisierungspunkt der digitalen Technik auch eine allgemeine *Bildungsfunktion* zugesprochen werden, die über ihre eigenen domänenpezifischen Kontexte hinausreicht.

Daran anknüpfend lauten die *Forschungsfragen* dieser Arbeit:

- (1) Was ist das spezifisch *Digitaltechnische* an Erkenntnisprozessen innerhalb digitaler Strukturen und wie prägt digitale Technik wissenschaftliche Erkenntnisarbeit?

An diese Frage nach der *Epistemologie digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit* schließt sich in einem zweiten Schritt die Frage nach ihrer Bedeutung für Bildungskontexte an:

- (2) Welche Anknüpfungspunkte für *Orientierungsmöglichkeiten* in der digitalen Welt lassen sich für Bildungskontexte aus einem gesellschaftlichen Teilbereich erschließen, der sich bereits seit Jahrhunderten mit der systematischen technisch vermittelten Wissensgenese befasst?

In den folgenden Abschnitten wird der Problemaufriss für die zentralen Fragestellungen dieser Studie genauer konturiert und das Forschungsproblem aus den Perspektiven der Wissenschaftsforschung, Bildungstheorie und Medienpädagogik hergeleitet. Zunächst werden einführend einige Schlaglichter zum „digitalen Wandel“ und „digitalen Wandel in den Wissenschaften“ präsentiert, die in einige Kernpunkte der späteren Analyse einführen. Im Anschluss erfolgt die Problematisierung des im Rahmen dieser Studie in den Blick genommenen Verhältnisses von Wissenschaft, Technik und Bildung (vgl. Abschnitt 1.2). Es folgt eine methodologisch-theoretische Einordnung und abschließend werden Aufbau und einige Kerngedanken der Studie vorgestellt (vgl. Abschnitt 1.3).

1.2 Wissenschaft, (digitale) Technik, Bildung – einführende Begriffs- und Verhältnisbestimmungen

Der Terminus digital

Der Medienwissenschaftler Jens SCHRÖTER argumentierte bereits im Jahr 2004, dass *digital* „auf diffuse Weise ‚neu‘, ‚fortschrittlich‘ und ‚computer-technisch‘“ konnotiert (Schröter 2004, S. 7; vgl. auch Loleit 2004). Dabei erscheint der Terminus gerade in der öffentlichen Diskussion mitunter als „Leerstelle“ (Loleit 2004, S. 207) oder „Hashtag“ (Knaus 2016, S. 106), für den beliebig anderes eingesetzt werden kann. Entsprechend zahlreich bevölkern heute selten eindeutige Digitalneologismen wie *digitale Bildung* (vgl. European Commission o. J.), *digitale Verwaltung* (vgl. BMI o. J.b) oder gar der *digitale Mensch* (vgl. Spektrum der Wissenschaft 2016) die öffentliche Rhetorik (vgl. Zulaica y Mugica/Zehbe 2022). Erkennbar wird an ihnen, dass aktuelle Erfahrungen gesellschaftlicher, technisch-technologischer und kultureller Transformationen heute in vielen Fällen am Kristallisierungspunkt der Frage nach dem digitalen Wandel verhandelt werden. So gibt es nur wenige Debatten über die Reformierung des deutschen Gesundheitssystems, die nicht auch die Chancen der Digitalisierung, z. B. in Form der digitalen Erfassung von Gesundheitsdaten, in den Vordergrund stellen (vgl. Die Bundesregierung 2023), nur wenige Diskussionen über Reformen des Schulsystems, die nicht „Bildung in der digitalen

Welt“ (KMK 2017) als zentrale Reformkategorie hervorheben, und kaum Verwaltungsreformen, die nicht auch um die bürgerfreundliche Digitalisierung von Verwaltungsprozessen bemüht sind (vgl. BMI o. J.a). Auch in Hochschulkontexten liest man – nicht selten im Rahmen forschungs- und hochschulpolitischer Digitalisierungsstrategien – schon seit einigen Jahren von „digitale[r] Wissenschaft“ (Gramelsberger 2019), „digitale[n] Methoden“ (Thimm/Nehls 2019) oder „digitale[n] Geisteswissenschaften“ (Krämer/Huber 2018). Gerade an den wissenschaftlichen Hochschulen und Universitäten, von denen beansprucht wird, gesellschaftliche Transformationen theoretisch ‚vordenken‘ und entsprechende Erkenntnisse in die Gesellschaft rückkoppeln zu können (vgl. Kergel 2018, S. 169; vgl. auch Derrida 1974), verblieben viele Bemühungen um das Aufgreifen des digitalen Wandels aber häufig bei einer „Inszenierungen des Neuen“ (Schieffner-Rohs/Hofhues 2018, S. 247). Als *Metapher* des Transformatorischen schlechthin bildet der Terminus *digital* also vielfach einen Sammelort für das öffentliche Verhandeln aktueller Vorstellungen zum Verhältnis gesellschaftlicher, kultureller und technologisch-technischer Transformationserscheinungen in unterschiedlichen Gesellschafts- und Kulturbereichen – und damit für die Formation und Reformation von Selbst- und Weltverhältnissen am Kristallisierungspunkt der digitalen Technik.

Entgegen der Begriffsvagheit in der öffentlichen Diskussion, ist im akademischen Diskurs eine zunehmende Begriffskontrierung zu verzeichnen, die, aufsetzend auf den soziologischen, kultur- und medientheoretischen Studien der vergangenen Jahrzehnte (vgl. u. a. Castells 2017; Hörl 2011; Stalder 2017), eine differenziertere Betrachtungsweise des digitalen Wandels ermöglichte. Der Begriff des *Digitalen* wird dabei im Kontext der Beschreibung gesamtgesellschaftlicher, kultureller Transformationen herausgearbeitet – in Abgrenzung zum eher technisch bzw. informationstechnisch konnotierten Begriff der Digitalisierung als Umwandlung analoger in digitale Signale (vgl. Knaus 2020, S. 17; Noller 2021, S. 42). Eine technikhistorische Verortung zu den computertechnischen Wurzeln des „digital universe“ nimmt beispielsweise George DYSON (2012) vor, eine gesellschaftstheoretisch-soziologische Einordnung wird im umfänglichen Werk von Manuel CASTELLS (2017), später auch von Dirk BAECKER (2007), Andreas RECKWITZ (2017) und von Armin NASSEHI (2019) vorgelegt. Der Bedeutung des digitalen Wandels für Erkenntnis- und Bildungsprozesse widmeten sich beispielsweise David WEINBERGER (2011) sowie die Forschungsfelder der Digital Humanities (vgl. Jannidis/Kohle/Rehbein 2017), Digital Sociology (vgl. Marres 2017) und der medienwissenschaftlich orientierten Medienpädagogik (vgl. Jörissen/Verständig 2017). Prominent wurde im deutschsprachigen Raum die kulturtheoretische Verortung des digitalen Wandels durch Felix STALDER (2017), der die Bezeichnung „Kultur der Digitalität“ geprägt hat und dessen Perspektive auch in der vorliegenden Studie einen Bezugspunkt bildet.

Anders als in der häufig vorgenommenen Gleichsetzung des Digitalen mit dem generisch Neuen (s. o.) häufig suggeriert, impliziert der digitale Wandel keine prinzipiell neuen Denkfiguren, sondern intensiviert vor allem solche, die bereits vor der Erfindung des Computers moderne Gesellschaften zu prägen begannen, wie u. a. der Soziologe

Armin NASSEHI beschreibt (vgl. Nassehi 2017, 2019, 2021). NASSEHI geht davon aus, dass die „moderne, komplexe Gesellschaft bereits sui generis eine *digitalisierte* beziehungsweise *digitalisierbare* Gesellschaft ist und die dazugehörige Technik sich dieser Struktur letztlich nur bemächtigt“ (Nassehi 2017, S. 150 f.; H. i. O.). In der Interpretation NASSEHIS stellt die Erfindung des Computers die konsequente technische Ausprägung eines gesamtgesellschaftlichen ‚Digitalisierungsprozesses‘ dar, der sich durch die Suche nach Möglichkeiten auszeichnete, allgemeine *Muster* einer zunehmend komplexer werdenden Gesellschaft zugänglich und kontrollierbar zu machen. NASSEHI verortet die Anfänge dieses Digitalisierungsprozesses daher konsequenterweise in die Zeit der Entstehung moderner Nationalstaaten Ende des 18. Jahrhunderts. Digitalisierung beschreibt er daran anknüpfend als Antwort auf ein gesellschaftliches Problem, nämlich die Notwendigkeit, Regelmäßigkeiten menschlichen Verhaltens sichtbar und berechenbar zu machen, um soziales Leben und daraus entstehende Bedarfe *analysierbar* und *skalierbar* machen zu können (vgl. Nassehi 2021, ab Minute 03:00). Dieses Problem „löste“ digitale Technik durch „Visibilisierung von auf den ersten Blick unsichtbaren Strukturen in Datensätzen“ (Nassehi 2019, S. 67). Gerade die Möglichkeit der Sichtbarmachung, Visualisierung und Explizierung von Strukturen in von Menschen schwer oder gar nicht durchschaubaren Datensätzen prägt heute auch einen großen Teil der digitaltechnikbasierten Erkenntnisprozesse in den Wissenschaften (vgl. Abschnitt 5.2). Bemerkenswert daran ist jedoch, dass Prozesse der Sichtbarmachung und der Mustererkennung häufig nur möglich werden, wenn zugleich andere Wissensbestandteile *invisibilisiert* werden (vgl. u. a. Abschnitte 2.2.2 und 5.1.3). So zeichnet sich digitale Technik in vielfacher Hinsicht durch ihren *ambivalenten Charakter* aus, wie noch zu zeigen ist (vgl. Abschnitte 3 und 5).

Digitaler Wandel in den Wissenschaften

Auch Wissenschaft als gesellschaftlicher Teilbereich befindet sich längst ‚im digitalen Wandel‘. In diesem Zusammenhang untersuchte zum Beispiel Dirk BAECKER (2007) in seinen *Studien zur nächsten Gesellschaft* u. a. Rekonfigurationen der universitären Wissensarbeit in der „nächsten Gesellschaft“ und rückte dabei die leistungsstarken vernetzenden Recheninfrastrukturen in den Vordergrund (vgl. ebd., S. 111–115), ohne die vor allem naturwissenschaftliches Forschen heute nahezu undenkbar geworden ist. Lange vor den gegenwärtigen Diskussionen zum „digitalen Wandel in den Wissenschaften“ hatten sich die Naturwissenschaften bereits zur sogenannten „Computational Science“ transformiert (Gramelsberger 2010, S. 85–102). Dabei hat sich vor allem die *Computersimulation* als dritte Säule naturwissenschaftlichen Forschens neben Theorie und Experiment etabliert. Die auf massiver Rechenleistung basierende Computersimulation ermöglicht ein Forschen in virtuellen Experimentalräumen, in denen beispielsweise Prognosen zur Klimaerwärmung oder die Wirkung von Medikamenten anhand von Modellen berechenbar werden (vgl. ebd.; Winsberg 2010). In Simulationen werden physische Artefakte und Naturvorgänge durch die „pflegeleichteren künstlichen Artefakte informationstheoretischer Welten ersetzt“, die „primär aus Information bzw. Informationsstrukturen bestehen“ (Weber 2003, S. 233), schreibt Jutta WEBER in ihrer Schrift *Umkämpfte Bedeutungen*.

Naturkonzepte im Zeitalter der Technoscience. Christopher LANGTON, auf den WEBER verweist, bezeichnet Computer als ein “laboratory tool”, das einzig der Aufzucht solcher Informationsstrukturen diene (Langton 1996, S. 50; Weber 2003, S. 233). Für WEBER schwingt in LANGTONS Beanspruchung des „Computers als exklusives Forschungsinstrument [...] der alte Wert neuzeitlicher Naturwissenschaft von Einfachheit und Eleganz mit“, da dieser die zahlreichen Instrumente und Utensilien eines Biolabors offenbar überflüssig werden lasse: „Der flexible und gleichzeitig systemisch geschlossene Computer bzw. Computernetzwerke machen die imperfekten, von Ungenauigkeit behafteten Handlungen im Biolabor unnötig“ (Weber 2003, S. 233 f.). Man könnte hier medien- und techniktheoretisch auch von *Konvergenz* sprechen, denn Instrumente und Funktionsweisen, für die üblicherweise eigene Geräte bzw. technische Objekte erforderlich waren, konvergieren im Digitalcomputer (vgl. Knaus/Engel 2015, S. 24) und Computer werden so zu *generischen* und äußerst *flexiblen* Werkzeugen wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit (vgl. Abschnitt 5.1).

Indem sich das naturwissenschaftliche Experiment als *Computerexperiment* neu erfindet, wird das naturwissenschaftliche Labor also immer stärker in die Simulationsumgebung von Rechenmaschinen verlagert, was u. a. zur Folge hat, dass naturwissenschaftliche Abteilungen an Hochschulen und Universitäten häufig nicht länger ohne die Zusammenarbeit mit eigenen „Computational Departments“ auskommen (Gramelsberger 2010, S. 92–96). Darüber hinaus ist gerade die Simulationsforschung auf große Rechenkapazitäten angewiesen, die in der Regel von einzelnen Institutionen, wie Universitäten, nicht aufgebracht werden können und daher institutionsübergreifende, überregional organisierte Hoch- und Höchstleistungsrechenstrukturen erforderlich machen. Sogenanntes *High Performance Computing* ermöglicht u. a. die Simulation komplexer Systeme, beispielsweise in der Astro- und Teilchenphysik, der Klima- und Erdsystemforschung, in Medizin und Lebenswissenschaften sowie in der Materialforschung (vgl. BMBF 2021). In Deutschland besteht eine solche Initiative zur Vernetzung universitärer Hochleistungsrechenkapazitäten beispielsweise im *Verbund des Nationalen Hochleistungsrechnens* (nhr-verein.de). Die durch übergreifende Infrastrukturen und Standards ermöglichte *epistemische Vernetzung* wird im Kontext dieser Studie noch als eines der Merkmale sowie eine der Errungenschaften digitaler Technik in den Wissenschaften diskutiert (vgl. Abschnitt 5.1.4).

Der digitale Wandel – nicht nur in den Wissenschaften – sorgte in den letzten Jahrzehnten außerdem für ein exponentielles Wachstum der Menge an digitalen Daten. Dies ist auch eine Folge des Zuwachs an „Sensor-, Rechen- und Speicherressourcen“, die es erlauben, digitale Daten nicht nur durch Digitalisierungs- oder Simulationsverfahren zu generieren, sondern auch durch eine erhebliche „Sensorisierung der Umwelt“ (Gramelsberger/Müller 2018, S. 758). Der enorme Zuwachs an digitalen Daten ermöglicht wiederum erweiterte Formen des datengetriebenen und rechenintensiven Forschens, das in Anklang an das Schlagwort *Big Data* unter den Termini *Big Science* oder *Großdatenforschung* diskutiert wird (vgl. Reichert 2014b, S. 18–21). Großdatenforschung stellt dabei hohe Anforderungen an ein adäquates Datenmanagement und erfordert übergreifende

Datenräume, wie sie auf europäischer Ebene beispielsweise mit der *European Science Cloud* (eosc-portal.eu) initiiert wurden (vgl. Gramelsberger/Müller 2018, S. 758). Der Zuwachs an digitalen Daten geht zugleich mit der Entwicklung von Analyseverfahren einher, die Teile des Analyseprozesses zu automatisieren versuchen – heute auch im Rahmen von Machine-Learning-Verfahren auf Grundlage *Künstlicher Neuronaler Netze* (vgl. Gramelsberger/Müller 2018, S. 758). Automatisierte *Datenanalyseverfahren* in Kombination mit neuen *Visualisierungstechniken* (vgl. Kitchin 2014a, S. 10) scheinen dabei die schiere Menge der Daten für menschliche Wissenschaffende wieder zugänglicher zu machen, werfen aber aus epistemischer Sicht die Frage auf, was automatisierte Analyseprozesse für den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess bedeuten.

In ihrem im Oktober 2020 veröffentlichten Impulspapier beschreibt die Expertenkommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) einführend Charakteristika eines „digitalen Wandels in den Wissenschaften“ und geht dabei auch der Frage nach „Veränderungen von Methoden- und Wissenschaftsbegriffen durch den digitalen Wandel“ nach (DFG 2019, o. S.). Diesbezüglich wird zunächst konstatiert, dass der digitale Wandel zu „keiner prinzipiellen Änderung der Anforderungen an Wissenschaftlichkeit“ führt, sondern vielmehr „das Entstehen neuer – digitaler – Forschungspraktiken“ befördert, die „epistemisch neu einzuordnen“ sind (DFG 2019, o. S.). Digitaler Wandel in den Wissenschaften führe demnach zwar zu neuen *Forschungspraktiken* und Methoden sowie zur Etablierung neuer *Informationsinfrastrukturen* (vgl. DFG 2020, S. 4 f.), stelle aber das, was bislang unter Wissenschaftlichkeit verstanden wurde, nicht in Frage. Eine große epistemische Herausforderung wird aber zugleich in den ‚selbstlernenden‘ Algorithmen gesehen, denn ihr Einsatz könnte mit der Forderung nach der „Erklärbarkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse“ in Konflikt geraten. Hierzu heißt es: „In diesem Zusammenhang galt bisher, dass Erkenntnisse so weit wie möglich durch den Menschen verstehbar, nachvollziehbar oder überprüfbar sein sollten“, denn der „wissenschaftliche Anspruch an die Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit von Forschungsergebnissen“ habe sich nicht geändert (DFG 2020, S. 7). Insbesondere vor dem Hintergrund allgemeiner Beschreibungen der zeitgenössischen Gesellschaft als „Nichtwissensgesellschaft“ (Zimmerli 2010, S. 129) bleibt aber die Frage offen, was *Nachvollziehbarkeit* vor dem Hintergrund komplexer automatisierter Analyseverfahren und technischer Systeme, deren unterliegende Funktionsweisen Nutzenden verborgen bleiben, heute für unsere Vorstellung von Wissenschaftlichkeit bedeutet (vgl. Abschnitte 2.2.2 und 5.1.3).

Hinsichtlich der Frage nach der Bedeutung von Wissenschaftlichkeit vor dem Hintergrund des digitalen Wandels fragt der in den Digital Humanities aktive Wissenschaftler Rob KITCHIN, inwieweit die Großdatenforschung in Kombination mit neuen Analysemethoden zu “paradigm shifts across multiple disciplines” führt, also zu einem disziplinübergreifenden Paradigmenwechsel im KUHN’schen Sinne, der u. a. mit einem neuen Verständnis von *Empirie* einhergeht (vgl. Kitchin 2014a, S. 1; vgl. auch boyd/Crawford 2013; Mayer-Schönberger/Cukier 2013). So scheint gerade das datengetriebene Forschen *induktive* Perspektiven wieder in den Vordergrund zu rücken und kann damit als Abkehr von ‚klassischen‘ hypothesenprüfenden Verfahren gedeutet werden, so zumindest sug-

geriert es eine prominent gewordene Debatte, die durch die provokante These vom „Ende der Theorie“ (Anderson 2008, o. S.; Übers. OM) des ehemaligen Chefredakteurs der Zeitschrift *Wired*, Chris ANDERSON, initiiert wurde. ANDERSON hatte behauptet, dass aufgrund der kontinuierlich wachsenden (Un-)Mengen digitaler Daten zunehmend treffgenauere Korrelationen hergestellt und damit Vorhersagen getroffen werden können, „die sämtlichen theorie-, hypothesen- und kausallogisch geleiteten Prognosen überlegen sind“ (Triebel 2013, o. S.). Gegen die Auffassung spricht aber, dass auch im Rahmen der Großdatenforschung weder die Genese noch die Analyse von Daten im ‚luftleeren‘, theorielosen Raum erfolgt, sondern spätestens an der Schnittstelle zum Menschen – also da, wo computergenerierte Resultate mit Bedeutung versehen werden – einem ‚human bias or framing‘ (Kitchin 2014a, S. 5) unterliegen. Nur durch diese – niemals kontextfreie – Bedeutungszuschreibung durch den Menschen könne überhaupt menschliches Wissen, und damit Wissen überhaupt, entstehen. Auch die auf ‚selbstlernenden‘ algorithmischen Strukturen basierenden Hochleistungs-Rechensysteme operieren nicht im menschenlosen Raum, sondern sind stets den sinn- und bedeutungsgebenden Ambitionen des Menschen, also seinem Drang auch scheinbar Sinnloses mit Bedeutung verknüpfen zu wollen, unterworfen. Der Philosoph Walter ZIMMERLI argumentiert, dass je „stärker und erfolgreicher die Digitalisierung voranschreitet, desto unabdingbarer [...] die (Re-)Analognisierung“ werde (Zimmerli 2021, S. 15). Damit meint er die *interpretative Rückführung* errechneter bzw. maschinell verarbeiteter digitaler Daten bzw. Resultate von Rechenverfahren in das menschliche Bewusstsein – Daten können eben nicht ‚für sich selbst sprechen‘, wie in der Debatte um das ‚Ende der Theorie‘ behauptet (vgl. Anderson 2008, o. S.). Denn „in dem Moment, in dem im engeren Sinne binär-digitale Prozesse lebensweltlich relevant werden“, gibt es ZIMMERLI zufolge „eine zwingende Wiederkehr des Analogen im Digitalen“, da das Digitale sonst bedeutungslos bleibt, das heißt also: „An der Mensch-Maschine-Schnittstelle bedarf es immer jener Transformation des Digitalen ins Analogie, die wir ‚Interpretation‘ nennen“, was für ZIMMERLI die unhintergehbarer „hermeneutische Dimension“ (Zimmerli 2021, S. 19) jeglicher digitaltechnischer Prozesse markiert. Der Anspruch, wissenschaftliche Prozesse können etwa durch das algorithmische Auswerten großer Datenmengen weitgehend automatisiert werden, ist demnach nicht weiterführend, da (menschliches) Wissen überhaupt erst durch Formen der „Re-Analognisierung“, sprich der Interpretation und Bedeutungszuschreibung, entstehen kann. Gesetzt die Annahme, dass *Wissen* nicht nur als materieller, speicher- und transferierbarer Wissenskanon definiert wird (nach Werner RAMMERT der „Container-Begriff des Wissens“), sondern stets auch als „Kompetenz, etwas zu tun“ (Rammert 2016, S. XIII), ist Wissen ohne ein aktiv Wissen aneignendes Subjekt nicht denkbar – genauso wie auch Wissenschaft ohne aktiv aneignende, verstehende, erklärende und interpretierende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nicht existiert. Eine solche *Re-Analognisierung* bzw. Aneignung digitaltechnischer Prozesse im Sinne menschenmöglicher Bedeutungszuschreibungen der digitaltechnischen Entscheidungsprozesse wird jedoch angesichts der bestehenden Intransparenzen innerhalb digitaltechnischer Strukturen immer schwieriger (vgl. Abschnitt 5.1.3). Dennoch können digitaltechnikbasierte Verfahren Erkenntnisarbeit und damit verbun-

dene Verstehensprozesse unterstützen – etwa über „Strukturvorschläge, Vorsortierungen, Visualisierungen, heuristische Hinweise, Mustererkennung und Korrelationsdetektion“ (Gransche 2022, S. 69). Digitale Technik kann zwar nicht ‚verstehen‘ oder ‚erklären‘, das heißt jedoch nicht, dass sie für menschliches Verstehen irrelevant wäre, denn sie kann menschliche Verstehensprozesse befördern (vgl. ebd., S. 71) – prägt diese aber auch auf spezifische Art und Weise (vgl. Abschnitt 5).

In besonderer Weise mit Prozessen der „Re-Analogisierung“ beschäftigt sind dabei vor allem jene Disziplinen, die hinsichtlich ihrer disziplinären Sozialisierung weniger Erfahrung mit formalisierten und mathematisierten Verfahren haben und die hier zunächst plakativ unter dem Dach der ‚Geisteswissenschaften‘ zusammengefasst werden. Zunächst untypisch erscheint es, dass computer- und rechenbasierte Verfahren der Genese wissenschaftlichen Wissens heute auch zunehmend in geistes- und sozialwissenschaftlichen Kontexten diskutiert werden, doch – wenn auch nicht im gleichen Maße wie die Naturwissenschaften – haben insbesondere die Potentiale der Großdatenforschung und die Auswertung großer Datenmengen in den letzten Jahrzehnten eine solch große Aufmerksamkeit erlangt, dass sie zur Formierung neuer Forschungsfelder führten, die heute unter der Bezeichnung *Digital Humanities* (vgl. u. a. Berry 2012; Burdick et al. 2012; Jannidis/Kohle/Rehbein 2017) zusammengefasst werden. Die dahinter verborgenen recht heterogenen wissenschaftlichen Communities eint u. a. das Ziel, Potentiale digitaler Technik, Tools und Infrastrukturen für die Erforschung geisteswissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Fragen und Gegenstandsbereiche zu erforschen, aber auch deren Bedeutung für wissenschaftliches Handeln und Erkenntnisprozesse insgesamt zu reflektieren. Neben der Entwicklung ‚geisteswissenschaftlicher‘ Varianten des Beobachtens, Experimentierens und Messens werden in den Digital Humanities u. a. auch quantitativ-statistische Verfahren als neue Möglichkeiten eines ergänzenden „Weitwinkels“ zu den traditionell eher hermeneutisch-idiosynkratischen Verfahrensweisen der Geisteswissenschaften analysiert und weiterentwickelt (Thaller 2017, S. 14 f.).

In ihrer einführenden Konturierung der *Dimensionen Digitaler Geisteswissenschaften* schreiben Sybille KRÄMER und Martin HUBER, dass „die Digital Humanities mit Hilfe digitaler Medien Fragen bearbeiten, die ohne Computer nicht einfach zeitaufwendiger und langsamer, sondern überhaupt nicht zu realisieren wären“ (Krämer/Huber 2018, o. S.). Als Merkmale der digitalen Geisteswissenschaften betonen sie die „Verdaturung der Forschungsgegenstände“, den „Einsatz computergestützter Verfahren“, „die maschinelle Darstellbarkeit der Ergebnisse in einer von Menschen rezipierbaren Form“ sowie den „Innovationsgehalt“ aus den Verfahren resultierender Erkenntnisse (ebd., o. S.). In den Geisteswissenschaften ermöglichen computerbasierte Rechenverfahren beispielsweise das Auffinden von Mustern in Texten durch Verfahren wie *text mining* bzw. stilometrische Analysen. Damit können Texte auf Aspekte untersucht werden, die durch menschliches vertiefendes *close reading* nur schwer zugänglich sind (vgl. Evans/Rees 2012, S. 30; Hayles 2012b, 46–49).

Schließlich gewinnt digitale Technik auch in den Sozialwissenschaften an Relevanz, zum einen als *Forschungsgegenstand*, denn digitale Strukturen und Medien durchdringen

heute genau die Lebenswelten und Formen der Sozialität, die im Fokus sozialwissenschaftlichen Forschens stehen. So erzeugen beispielsweise in den Sozialen Netzwerken entstandene Kommunikations- und Handlungsräume mittlerweile umfangreiche, bereits in digitaler Codierung vorliegende Daten (vgl. Thimm/Nehls 2019, S. 977 f.), die vor dem Hintergrund eines sozialwissenschaftlichen Erkenntnisinteresses ausgewertet werden können und es seit einigen Jahren auch werden (vgl. Marres 2017). Dabei entstehen die für die Sozialwissenschaften heute interessanten digitalen Daten meist als „Nebenprodukt des alltäglichen Handelns“ der Userinnen und User auf den Online-Plattformen, „die sich gar nicht bewusst sind, dass ihr Handeln permanent beobachtet und als Big Data privat gehandelt wird“ (Wagner 2018, o. S.). Das wirft nicht nur ethische Fragen auf (vgl. boyd/Crawford 2013, S. 205–209), sondern hat auch Folgen für die Frage, was Sozialwissenschaften künftig unter sozialem Handeln unter digitalen Bedingungen verstehen wollen (vgl. Wagner 2018, o. S.).

Mit der *Computational Social Science* (vgl. Lazer et al. 2009) entwickelte sich zum einen eine neue „Leitwissenschaft“ sozialwissenschaftlichen Forschens im Kontext Sozialer Medien (Reichert 2017, S. 30). Zum anderen setzen sich in den Sozialwissenschaften verortete Forschende zunehmend auch reflexiv mit den Voraussetzungen und Möglichkeitsbedingungen für sozialwissenschaftliches Forschen innerhalb digitaler Strukturen auseinander. Diese kulminieren ähnlich wie in den *Digital Humanities* vielfach in die Frage nach den *digitalen Methoden* (vgl. Marres 2017, S. 78–155; Thimm/Nehls 2019). Heute wird – auch aus der geisteswissenschaftlich-reflektierenden Perspektive der Digital Humanities – die Frage gestellt, ob inzwischen von genuin *digitalen Methoden* gesprochen werden kann (vgl. Marres 2017; Raunig/Höfler 2018; Rogers 2013). MARRES zufolge sehen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die ‚digital‘ forschen wollen, zunehmend vor die Frage gestellt: “[D]o we seek to translate established methods [...] into digital forms, or do we seek to develop more experimental, ‘new’ methods that seek to take advantage of the inherent features of digital technologies and practices” (Marres 2017, S. 89)? Geht es Forschenden, die mithilfe digitaler Technik forschen, also darum, tradierte Methoden zu ‚digitalisieren‘ oder genuin neue Methoden zu entwickeln? MARRES schlägt vor, die Beantwortung der Frage jenseits der Unterscheidung zwischen genuin neuen ‚digitalen Methoden‘ und klassischen ‚digitalisierten‘ Methoden zu treffen, sondern zu berücksichtigen, dass sozialwissenschaftliches Forschen selbst zunehmend innerhalb digitaltechnischer Kontexte und Infrastrukturen stattfindet, die eine Reflexion auf das *Verhältnis* der Sozialwissenschaften zur (digitalen) *Technik* grundsätzlich notwendig machen (vgl. ebd., S. 89) – ein Plädoyer, das sicher nicht nur die Sozialwissenschaften, sondern auch die Geistes- und Naturwissenschaften betrifft.

Im Hinblick auf die Methodenfrage bleibt zu konstatieren, dass seit der frühen Neuzeit gerade *Methodendiskurse* dazu dienten, konkurrierende Wissens- und Wissenschaftsbe- griffe zu verhandeln. Die Frage nach der ‚richtigen‘ Methode, um zu wahren Aussagen bzw. zu wahrem Wissen zu gelangen, beschäftigte die Vordenker der neuzeitlichen Wissenschaften spätestens seit René Descartes (vgl. u. a. Descartes 2011). Dabei sind Methoden immer auch Träger paradigmatischer, kollektiver bzw. impliziter Erkenntnisstra-

tegien, sogenannter *Denkstile*, wie Ludwig FLECK (2017) es formulierte, und damit *Medien* der Wahrnehmung und Erschließung von Welt. Richard ROGERs zufolge zeichnen sich auch die *digitalen Methoden* durch ihre Medienspezifität aus (2013; zit. nach Marres 2017, S. 83). Medienspezifität ist ein Begriff aus der Kunstgeschichte, der die materiellen und sozio-technischen Eigenschaften technischer Medien hervorhebt, insbesondere die Tatsache, dass „such qualities make a difference to the forms of knowledge produced by these means“ (Marres 2017, S. 83). Medienspezifität geht davon aus, dass den digital-technikbasierten Werkzeugen bereits „specific methods“ inhärent sind (ebd., S. 83). Etymologisch geht der Terminus Methode auf das altgriechische *methodos* für *Weg einer Untersuchung* zurück (vgl. Nola/Sankey 2014, S. 12) zurück. In diesem Sinne legen Methoden – digital oder nicht – die Spur für den Weg, den ein Erkenntnisvorgang nehmen soll (vgl. Abschnitt 4.1). Erkanntes ist damit immer *auf diesem Weg* Erkanntes. Fallen im Rahmen ‚digitaler Methoden‘ digitale Technik und wissenschaftsmethodisches Denken und Handeln zusammen, so ist es von Interesse, inwieweit das so generierte wissenschaftliche Wissen auch Produkt der unterliegenden digitalen Technik ist.³ Doch was haben diese sich im digitalen Wandel befindlichen Wissenschaften eigentlich mit Bildung zu tun? Und welche Bedeutung hat das Verhältnis von Wissenschaft, Bildung und Technik für die in dieser Studie zentrale Frage nach Orientierungsmöglichkeiten in der digitalen Welt?

Wissenschaft und Bildung – Technik und Bildung

Die im Problemaufriss aufgeworfene Annahme, dass sich aus dem digitalen Wandel in den Wissenschaften auch Lehren für Bildungskontexte ziehen lassen, kann nicht unkritisch übernommen werden. Dass nämlich Wissenschaft und Bildung nicht in einem konstruktiven, sondern vielmehr in einem *problematischen* Verhältnis zueinander stehen, argumentierte beispielsweise der Erziehungswissenschaftler Dietrich BENNER mit der Formel, dass die „in einem wissenschaftlich ausgewiesenen Sinne Wissenden [...] nicht schon per se die Gebildeten“ seien (Benner 1990, S. 598). Unter Bildung versteht er „die Möglichkeit des Menschen [...], zu sich selbst und zu seinem Handeln in ein Selbstverhältnis zu treten und in einem expliziten Sinne nach der Verantwortlichkeit des eigenen Denkens und Tuns zu fragen“. Unter Wissenschaft verstehe sich dagegen der „immer noch beschleunigende Erkenntnisfortschritt, der tendenziell alles Gegebene, Natur, Gesellschaft und Geschichte, in eine vom menschlichen Verstand konstruierte Ordnung bringt und menschlicher Herrschaft und Willkür unterwirft“ (Benner 1990, S. 598). Die

³ Zu diesen einführenden Anmerkungen zum digitalen Wandel in den Wissenschaften ist hinzuzufügen, dass weder der Wissenschaftsbegriff noch der digitale Wandel in den Wissenschaften in dieser Studie umfassend behandelt werden können. So wird beispielsweise der wichtige Teil des wissenschaftlichen Publizierens und der Wissenschaftskommunikation, die vor dem Hintergrund des digitalen Wandels großen Veränderungen ausgesetzt sind, nicht berücksichtigt (vgl. u. a. Drößler 2022; Neuberger et al. 2021). In dem für diese Studie gewählten Ausschnitt zum digitalen Wandel in den Wissenschaften stehen insbesondere die von der digitalen Technik heute zunehmend geprägten strukturellen Bedingungen im Vordergrund, die wissenschaftsmethodisches Denken sowie Forschungspraktiken innerhalb digitaler Strukturen und mit digitalen Tools prägen.

Aussagesysteme neuzeitlicher Wissenschaft stellen BENNER zufolge „Konstrukte einer hypothetischen, von unserem Verstand ausgehenden Gesetzgebung“ dar, die zwar die „Mannigfaltigkeit des Gegebenen“ erklärbar machen, dabei aber auf die Reflexion der Möglichkeitsbedingungen und Geltung des so generierten Wissens verzichten. Hier argumentiert BENNER, dass Wissenschaft „von sich aus weder verantwortliches Selbstverhältnis des Menschen zu Natur, Gesellschaft und Geschichte“ hervorbrächte, noch „ihrerseits in einem solchen Verhältnis fundiert“ sei. Daher könne „neuzeitliche Wissenschaft von sich aus kein bildendes Selbstverhältnis des Menschen zu der von ihr hervorgebrachten Szientifik und Technologie begründen“ (ebd., S. 599). Zugleich eröffne wissenschaftliches Handeln heute sowohl theoretische als auch technisch realisierbare Möglichkeiten, „alles Leben auf dem Planeten Erde mit den Mitteln neuzeitlicher Wissenschaft zu vernichten“. BENNER kommt zu dem Schluss, dass zeitgenössische Wissenschaft seit ihrer neuzeitlichen Formierung zwar die Frage nach dem Verhältnis von Bildung und Wissenschaft zunehmend dringlicher mache, diese „aus eigener Kraft aber weder stellen noch beantworten kann“ (ebd., S. 599).

Gegen einen Bildungsanspruch an die Wissenschaft besteht auch seitens der Philosophie und Wissenschaftstheorie begründete Kritik. Mit seiner Aussage „Wissenschaft denkt nicht“ (Heidegger 2000, S. 133) bescheinigt Martin HEIDEGGER den Wissenschaften eine Begriffsvergessenheit. In der Interpretation durch Carl Friedrich VON WEIZSÄCKER meint er damit, dass die (positiven) Naturwissenschaften die Grundbegriffe, die ihren Erkenntnissen unterliegen (wie beispielsweise in der Physik die Begriffe *Leben* oder *Materie*), „im normalen Vollzug der Wissenschaft“ und mit den ihnen eigenen Mitteln nicht infrage stellen können (von Weizsäcker 1993, S. 288 und 376). Dies muss jedoch zunächst kein Nachteil sein, denn dass beispielsweise die Physik den Begriff der Materie, die Biologie den des Lebens nicht problematisiert, mache die Naturwissenschaften überhaupt erst funktionsfähig. Gerade dann, wenn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sich kein Urteil über die von ihnen verwendeten zentralen Begriffe bilden müssen, sondern diese apriorisch voraussetzen dürfen, ‚funktioniere‘ (Natur-)Wissenschaft am besten (vgl. von Weizsäcker 1993, S. 288). Jürgen HABERMAS (2013) weist in seinem Vortrag *Erkenntnis und Interesse* auf den *methodischen Vorteil* hin, den das Unvermögen bzw. der Verzicht der Einzelwissenschaften, ihre Erkenntnisse im Zusammenhang übergeordneter „Interessen“ adäquat zu beurteilen, für den wissenschaftlichen Prozess bedeutet: „Es macht ja die Ehre der Wissenschaften aus, ihre Methoden unbeirrt, ohne Reflexion auf das erkenntnisleitende Interesse anzuwenden. Indem die Wissenschaften methodologisch nicht wissen, was sie tun, sind sie ihrer Disziplin umso gewisser, das heißt: des methodischen Fortschritts innerhalb eines nichtproblematisierten Rahmens“. Dieses „falsche Bewusstsein“ habe eine „schützende Funktion“, denn „auf der Ebene der Selbstreflexion fehlen den Wissenschaften die Mittel, den Risiken eines einmal durchschauten Zusammenhangs von Erkenntnis und Interesse zu begegnen“ (ebd., S. 71). Methodische Gewissheit erfüllt also eine schützende Funktion, denn sie konstituiert *Routinen*, die Wissenschaftsgemeinschaften u. a. von der Verpflichtung entlasten, Bedingungen und Vorausnahmen der Genese wissenschaftlichen Wissens immer wieder aufs Neue diskursiv aushandeln zu müssen.

Jürgen MITTELSTRÄß hat die Konstitution gegenwärtiger Wissenschaftsformen als „Leonardo-Welt“ (Mittelstraß 2017, 2020) bezeichnet, die in ihrer Amalgamierung von wissenschaftlichem und technischem Wissen wesentlich von „Orientierungsdefizite[n]“ und zugleich von einem Überschuss an „Verfügungswissen“ (Mittelstraß 2020, S. 91; H. i. O.) geprägt sei (vgl. auch Jörissen/Marotzki 2009, S. 29; Mittelstraß 1982, 1989, 2001). Mit Verfügungswissen meint MITTELSTRÄß das „positive Wissen um Ursachen, Wirkungen und Mittel“. Demgegenüber kann als „Orientierungswissen“ das Wissen um „(begründete) Ziele und Zwecke“ gelten, das als „regulatives oder handlungsorientierendes Wissen“ dafür sorgt, dass ein „Können, das sich im Verfügungswissen zur Geltung bringt“ nicht „orientierungslos“ bleibt. MITTELSTRÄß zufolge müsse wissenschaftliche Rationalität beides lösen, „Probleme des Könnens“ sowie „Probleme des Sollens“ (Mittelstraß 2020, S. 91). HABERMAS selbst bringt den Einwand vor, dass der von ihm konstatierte schützende „Objektivismus“ der Wissenschaften nur dann gerechtfertigt sei, wenn er nicht ins „weltanschaulich Affirmative gewendet wird“ und so zum Ausdruck eines „szenistischen Glaubensbekenntnisses“ wird. Gegen eine solche Wendung helfe nur *Kritik*, und zwar eine, „die den objektivistischen Schein zerstört“, indem sie auf den Zusammenhang von „Erkenntnis und Interesse“ reflektiert (Habermas 2013, S. 73). *Interesse* ist bei HABERMAS als „vorgängig mitgesetzte[s] Bezugssystem“ zu verstehen und damit auch als Urteil, das der scheinbar objektiven Erkenntnis „uneingestanden“ (ebd., S. 64) – das heißt in der Terminologie dieser Studie *unreflektiert* – als Rahmung zugrundeliegt.

Nun wird Wissenschaft als *unreflektierte Praxis* in der phänomenologischen Reflexion des vergangenen Jahrhunderts auch explizit mit dem *Technikbegriff* in Verbindung gebracht. In Edmund HUSSERLS (2012) Schrift *Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendentale Phänomenologie* ist die von ihm entfaltete Ineinssetzung von Technik und zeitgenössischer Naturwissenschaft sogar Grund für seine phänomenologischen Kritik an der Wissenschaftsauffassung seiner Zeit, in der, so die Kritik, Naturwissenschaft als Technik betrieben wird. In seiner Krisisschrift hatte HUSSERL die naturwissenschaftliche Methode als Form der „Technisierung“ kritisiert, nämlich als eine, die ihre Ergebnisse nach „technischen Regeln“ gewinnt, dabei aber nicht mehr das „ursprüngliche Denken“ berücksichtige, das „diesem technischen Verfahren eigentlich Sinn und den regelrechten Ergebnissen Wahrheit gibt“ (Husserl 2012, S. 49). HUSSERL setzt dabei einen stark instrumentalistischen Technikbegriff voraus, der technisches Handeln im formelhaften Abarbeiten technischer Regeln begreift. Hans BLUMENBERG hat die von HUSSERL kritisierte Technisierung der Naturwissenschaft dabei als eine durchaus gewollte Ursprungsvergessenheit der Wissenschaften nachgezeichnet (vgl. Blumenberg 2020, S. 33 f.). In Anlehnung an HUSSERL betrachtet BLUMENBERG Technisierung insgesamt als „Verwandlung ursprünglich lebendiger Sinnbildung‘ zur Methode, die sich weitergeben lässt, ohne ihren ‚Urstiftungssinn‘ mitzuführen“ (Blumenberg 2020, S. 34 f.; vgl. auch Husserl 2012, S. 60). Hier dienen *Technik* und *Methode* mitunter auch als Umschreibungen für Mechanismen, die „unreflektierte Wiederholbarkeit schaffen“ (Husserl 2012, S. 194). Dieses Spannungsfeld der Technik zwischen Verdeckung ihres Ursprungssinns und ihrer Leistungsstärke hat Hans BLUMENBERG als Antinomie von „Leistung“ und

Einsicht“ (Blumenberg 2020, S. 55; H. i. O.) analysiert (vgl. Abschnitt 2.2.2), welche zugleich auch das *aporetische Verhältnis* von Wissenschaft und Bildung markiert. Ist nämlich *Verlust* der Einsichtsfähigkeit in die technischen bzw. methodischen Funktionszusammenhänge im Rahmen wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit Voraussetzung für eine stets zunehmende Leistungsfähigkeit im Kontext der Genese menschlicher Wissensbestände oder gar für die Möglichkeit der Genese jeglichen *neuen* Wissens überhaupt, so kann eine Rückbesinnung auf den Ursprungssinn u. a. der Technik nur durch einen *Leistungsverzicht* erreicht werden. Leistungsverzicht wird in der vorliegenden Studie im Sinne einer „Bildung als Verzögerung“ (Dörpinghaus 2013, S. 94) interpretiert, denn erst durch Bildungsinitiativen, in denen auf die reine Funktionalität von Technik als ‚bloßes‘ Mittel zum Zweck verzichtet wird, kann sie auch zum Bildungs- und Reflexionsobjekt werden. Bildung muss dann als „reflexives Verhältnis“ gelten, „das wir gewinnen, wenn wir über uns, andere Menschen und die Welt ins Nachdenken geraten“ (ebd., S. 94; vgl. Abschnitt 7).

Gegen die Bezugnahme auf Technik als *Bildungsobjekt* spricht allerdings, dass nicht nur das Verhältnis von Wissenschaft und Bildung als problematisch gelten kann, sondern auch das von *Technik* und *Bildung*. Der Bildungstheoretiker Peter EULER (2001) attestiert der Pädagogik ein tradiert ‚stiefmütterliches‘ Verhältnis zur Technik, in dem *Technik* lange vor allem als negative Kontrastfolie diente. So gründete das Ringen der Aufklärungspädagogik um die Frage, ob der Mensch zum Menschen oder zum Bürger zu erziehen sei und wie dabei das „Notwendige mit dem Menschlichen“ zu verbinden sei, auf der Vorstellung, dass die „Realien“ in Form des Notwendigen, Nützlichen bzw. der „Arbeit“, zu der EULER auch die Technik zählt, als das „prinzipiell Unmenschliche“ zu betrachten sind (Euler 2001, S. 223). Eine weitere Vertiefung dieser Denkfiguren erfuhr der Bildungsdiskurs im Kontext neuhumanistischer Vorstellungen. Gerade das Ideal humanistischer Bildung, das die *Freiheit* gegenüber dem bloß *Aktuellen*, der praktischen Arbeit, zu betonen suchte, sprach der in diesem Kontext häufig verorteten Technik einen „strukturell [...] bildungsbedeutsamen Stellenwert“ ab (ebd., S. 223). Der Technikphilosoph Günther ROPOHL, der auch einen wichtigen Bezugspunkt für EULERS Arbeit darstellt (vgl. Euler 1999, S. 118–122), setzt seine Forderung einer *technologischen Bildung* ebenfalls an der Kritik des humanistischen und idealistisch geprägten Bildungsbegriffs an. Der darin vorgestellte Bildungsprozess, der sich nach idealistischer Vorstellung „in kontemplativer Selbstbezogenheit des menschlichen Geistes und im Medium der Kulturgüter von Philosophie, Wissenschaft, Kunst und Moral“ vollzieht, lasse keinen Raum für auf „planmäßige Veränderung und Gestaltung der realen Welt gerichtetes praktisches Handeln“. Vielmehr präge es eine Bildungsvorstellung, die das praktische Handeln als „Beeinträchtigung der frei zu entfaltenden geistigen Kräfte“ wahrnehme (Ropohl 2016, S. 217 f.). Damit verfehle aber das tradierte Programm der Bildung ROPOHL zufolge gerade seine zutiefst humanistische Intention einer *umfassenden Bildung* des Menschen, die in HUMBOLDTS Formel der „Bildung seiner Kräfte zu einem Ganzen“ (Humboldt 2012, S. 110) zum Ausdruck kommt. Zur Folge hatte dies in der Vergangenheit, dass ein daran anknüpfendes Bildungsprogramm wichtige Teile menschlicher Lebenswirklichkeit als *bildungs-*

unwürdig ausklammerte, indem es „die menschliche Arbeits- und Lebenswirklichkeit, die Auseinandersetzung des Individuums mit Natur und Gesellschaft, eben die soziotechnische Praxis, nicht nur vernachlässigt, sondern ausdrücklich aus [...] [ihrem] Horizont verbannt“ hatte (Ropohl 2016, S. 218). ROPOHLS Idee einer *technologischen Bildung* berücksichtigt dagegen u. a. in Rekurs auf die Arbeit von Karl MARX „Arbeit und Technik als sozialanthropologische Grundbestimmungen des Menschen“, die genauso „zum ‚Universum in der Individualität der Person‘ gehören wie die theoretische, die ästhetische und die moralische Dimension“ (ebd., S. 219).

Erste Versuche, die bis dato als „Stieffkind“ der Bildung geltende Technik zu rehabilitieren, führt EULER auf Initiativen zurück, die im 19. Jahrhundert einsetzende Industrialisierung bildungstheoretisch zu erfassen (vgl. Euler 2001, S. 226 f.). Technologische Entwicklungen, die in Zeiten der Industrialisierung vor allem die Steigerung der Produktivkräfte beförderten, begannen im 20. Jahrhundert schließlich, alle Lebensbereiche zu durchdringen, und führten zu allgemeingesellschaftlichen Transformationen, die EULER unter dem Begriff der *Technologisierung* fasst (vgl. ebd., S. 227; Euler 1999, S. 7–18). EULER argumentiert, dass „eine sachangemessene Reflexion, inwiefern und warum Technik mehr als Technik geworden ist“ sowohl in der technikoptimistischen „Hypostasierung der Technik“ als auch in der bildungsbürgerlichen Ignoranz der Bedeutung von Technik nicht aufgehe (Euler 1999, S. 121). Sachangemessen reflektieren lasse Technik sich auch nicht einfach durch die „Integration neuer Bildungselemente“ respektive ‚Bildungsinhalte‘, da der Technik für die Bestimmung von Selbst- und Weltverhältnissen *katgoriale* Bedeutung zukommt (Euler 1999, 123 und 135). Grundlage für ein *Neudenken von Bildung*, aber auch von Forschung und Lehre an Universitäten und Hochschulen (vgl. ebd., S. 292–341), bilde vielmehr die Einsicht in den „*universelle[n] Durchdringungscharakter*“ (ebd., S. 170; H. i. O.) der Technik.

Diese Diagnose ist auch bedeutsam für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten in einer vom digitalen Wandel geprägten Welt. Dafür sollen schließlich im zweiten Teil der vorliegenden Studie Anknüpfungspunkte aus der Analyse des digitalen Wandels in den Wissenschaften ermittelt werden. Die „Klärung des Verhältnisses von Verfügungs- und Orientierungswissen in hochkomplexen Gesellschaften“ ist nach Benjamin JÖRISSEN und Winfried MAROTZKI als zentrale Aufgabe der Pädagogik zu verstehen, die vornehmlich im Feld der Bildungstheorie verhandelt wird und sich „mit der Frage nach dem orientierenden Wert von Wissen beschäftigt“ (Jörissen/Marotzki 2009, S. 29). Aus der Perspektive eines transformatorischen Bildungsbegriffs sowie der strukturalen Bildungstheorie bildet Orientierungswissen in den heutigen „hochkomplexen, globalisierten, nachtraditionellen Gesellschaften“ (Marotzki/Jörissen 2010, S. 20) zentrale Voraussetzung für gesellschaftliche Partizipation. Entsprechend nachvollziehbar ist es daher auch, dass JÖRISSEN und MAROTZKI ihren Medienbildungsbegriff – sowie zuvor bereits MAROTZKI seine strukturelle Bildungstheorie (vgl. Marotzki 1990) – im Wesentlichen vor dem Hintergrund moderner „Orientierungskrisen“ entwickelt haben. Der strukturelle Bildungsansatz von MAROTZKI und daran anknüpfend die strukturelle Medienbildungstheorie von Benjamin JÖRISSEN und MAROTZKI (vgl. Jörissen/Marotzki 2009) gehen der Frage nach, welche

Orientierungsmöglichkeiten Menschen in gesellschaftlichen Transformationsprozessen, die von den Autoren als krisenhafte Erscheinungen gedeutet werden, offenstehen. Orientierung, so die Autoren, findet dabei auch und vor allem *innerhalb* medialer Strukturen und mithilfe medialer Artikulationen statt. Aus der strukturalen Perspektive ist für die Konturierung von Orientierungsmöglichkeiten daher auch nach den „Formeigenschaften“ bzw. „Formstrukturen“ der (digitalen) Medien zu fragen sowie nach den „strukturalen Bedingungen“ medial vollzogener Orientierungsprozesse (ebd., S. 40 f.; H. i. O.). Im Rahmen der vorliegenden Studie geht es mir bei *Orientierung* allerdings weniger um die Frage, welche allgemeinen Orientierungsprozesse durch spezifische Formstrukturen digitaler Medien bzw. digitaler Technik befördert werden können, wie es in der strukturalen Medienbildungstheorie im Vordergrund steht. Vielmehr geht es mir um die Frage, inwiefern Bildungssubjekte sich *innerhalb* dieser Formstrukturen orientieren können und wie es dabei möglich wird, ein reflexives Verhältnis zur digitalen Technik zu entwickeln. Aus medienpädagogischer Sicht ist Orientierung Bernd SCHORB zufolge „Bewältigungsanforderung“ in einer von Mediatisierung geprägten Gesellschaft, die auch eine „reflexive Aneignung“ der Medien und – so ist zu ergänzen – der ihnen unterliegenden Techniken erfordert. Ziel ist die Entwicklung von Wissen und Können, die es Menschen ermöglichen, „innerhalb eines Medienensembles voller Chancen und Zwänge ihre je eigene Position zu finden“ (Schorb 2011, S. 91).

Wird nun aber der *digitale Wandel* selbst als mitunter auch krisenhafter gesellschaftlich-kultureller Transformationsprozess betrachtet, so entbehrt die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten *innerhalb* digitaltechnikbasierter Strukturen nicht einer gewissen Zirkularität: Wie kann Orientierung ‚in der digitalen Welt‘ ausgerechnet *mittels* digitaler Medien und Technik erfolgen? Das spezifische Problem der Orientierung innerhalb digitaltechnikbasierter Strukturen hat aus medienwissenschaftlicher Perspektive u. a. Felix STALDER in seinen Überlegungen zur *Kultur der Digitalität* (vgl. Stalder 2017) aufgegriffen und dabei mit *Referentialität*, *Gemeinschaftlichkeit* und *Algorithmizität* drei Strategien identifiziert, mit denen Menschen sich innerhalb einer *Kultur der Digitalität* orientieren (müssen). *Referentialität* (vgl. ebd., S. 96–128), also das Zurückgreifen auf, Rekontextualisieren und Neubewerten von bereits Vorhandenem, wie beispielsweise Medienangebote und digitale Artefakte im Netz, sind Strategien der Bedeutungszuschreibung, Aneignung und Positionierung (vgl. ebd., S. 122) gegenüber kulturellen und digitaltechnischen Codes und Rahmungen und können – so die noch zu begründende Annahme – auch Reflexionsprozesse *über* deren „Urstiftungssinn“ veranlassen bzw. jenes „ursprüngliche Denken“ wieder sichtbar machen, das „diesem technischen Verfahren eigentlich Sinn und den regelrechten Ergebnissen Wahrheit gibt“ (Husserl 2012, S. 49).

Dem spielt in die Hände, dass Daten und Informationen innerhalb digitaltechnischer Strukturen in einer einheitlichen Codierung vorliegen, was ihr Rearrangieren und Rekontextualisieren vereinfacht (vgl. Abschnitte 3.2 und 5.1.1). Referentialität markiert dabei eine Orientierungsstrategie, die Ausdruck eines *immanenteren* Zugangs zur Welt ist – Neues entsteht auf der Grundlage des Verweisens auf und der Rekontextualisierung von bereits Gewusstem, bei dem „bereits mit Bedeutung versehenes Material“ mit neuer

Bedeutung versehen wird (Stalder 2017, S. 97). Ästhetische Verfahren und Ausdrucksformen wie Remix, Remake, Sampling, Mem oder Mashup representieren dabei insofern einen immanenten Zugang zur Welt, als dass sie Positionierungen und das Zuschreiben von Bedeutung durch eine Neuinszenierung des bereits Vorhandenen erreichen, damit also Orientierungsmöglichkeiten mit bereits bestehenden kultur- und technikimmanenter Mitteln und Materialien ermöglichen (vgl. Abschnitt 6.3).

Neben der Referentialität bildet auch *Gemeinschaftlichkeit* eine zentrale Orientierungsstrategie innerhalb einer Kultur der Digitalität (vgl. Stalder 2017, S. 129–164). Referentialität, das gegenseitige Hinweisen, Aneignen und Neuperpektivieren von bereits Vorhandenem, wird dabei im Rahmen *epistemischer Gemeinschaften* und *Communities of Practice* (vgl. ebd., S. 135) vollzogen, in denen das „gemeinschaftliche Erstellen, bewahren und Verändern des interpretativen Rahmens“ eines gemeinschaftlichen Praxisfelds kultiviert wird (ebd., S. 136 f.). Zur Konstitution solcher epistemischer Gemeinschaften sind die verallgemeinernden Strukturen digitaler Technik als eine Art übergreifende *lingua franca* von zentraler Bedeutung, wie auch im Kontext der technischen und sozialen Vernetzungsprozesse einer Wissenschaft im digitalen Wandel gezeigt werden kann (vgl. Abschnitt 5.1.4).

Eine weitere von STALDER beschriebene Orientierungsstrategie ist die der *Algorithmizität* (vgl. Stalder 2017, S. 164–202). Diese gründet auf der Annahme, dass aufgrund zunehmender Komplexität und Vernetzung von Informationen und Daten praktikable Orientierungsmöglichkeiten nicht länger ohne technische – hier: algorithmische – Unterstützung gefunden werden können. Algorithmen übernehmen vor allem Sortier- und Ordnungsfunktionen für den Menschen (vgl. ebd., S. 182–187), ohne die Menschen heute in einigen Wissensdomänen nicht mehr auskommen, so beispielsweise im Rahmen der Analyse und Nutzbarmachung großer kognitiv nicht mehr zugänglicher Datenmengen (*Big Data*). Zugleich bilden heute aber zunehmend *intransparente*, auf maschinellem Lernen basierende algorithmische Strukturen (vgl. Abschnitt 5.2.2), die Basis ebenjener algorithmenbasierten Orientierungsmöglichkeiten. Im Hinblick auf die Frage der Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen zeichnet sich damit das Problem ab, dass der ‚Bock zum Gärtner‘ gemacht wird, denn obwohl wir durch digitale Medien und Technik „nun scheinbar unbegrenzte Möglichkeiten der Informationsbeschaffung und -verarbeitung haben“, mit denen wir uns auch in der digitalen Welt orientieren könnten, so „sind es Algorithmen, die uns die Suchergebnisse aufzeigen und es uns im sprichwörtlichen Meer von Daten und Informationen überhaupt erst ermöglichen, zu sehen und Neues zu erkunden“ (Verständig 2022, S. 22). Wie kann sinnvoll Orientierungswissen für ein Handeln innerhalb digitaler Strukturen aufgebaut werden, wenn zur Orientierung innerhalb dieser Strukturen stets auch das benötigt wird, was eigentlich *Gegenstand* des Orientierungsprozesses sein soll?

Dieser Gedanke deutet wiederum auf das grundsätzliche Erkenntnisproblem einer von Mediatisierung und Digitalisierung geprägten Welt: Orientierung kann nur *innerhalb* dieser Welt und ihrer Bedingungen erfolgen, eine Außenperspektive ist darin zunehmend weniger möglich. Diese Immanenz der Welterschließung steht dabei dem Ideal einer

Reflexion ‚von außen‘ im Sinne einer kritischen Distanzierung entgegen. Immanenz spiegelt sich dabei auch im Orientierungsbegriff selbst wieder: Orientieren kann man sich nur *innerhalb* eines Raums, in dem man sich selbst befindet, kritische Distanz dagegen kann bestenfalls von der Position eines außenstehenden Beobachters eingenommen werden. Bezogen auf die Frage nach den Möglichkeiten der Entwicklung eines reflexiven Verhältnisses zur digitalen Technik bedeutet eine immanente Positionierung vor allem, den bereits erwähnten gesellschaftlichen und kulturellen „*Durchdringungscharakter*“ (Euler 1999, S. 170; H. i. O.) der Technik anzuerkennen (vgl. Abschnitt 2.1). Hier stellt sich aber die Frage: Wie können wir etwas *über* unterliegende Strukturen dieser gesellschafts- und kulturprägenden Technik erfahren, wenn sowohl Erkenntnis- als auch Bildungsprozesse selbst zunehmend *innerhalb* dieser Strukturen stattfinden (vgl. u. a. Hug 2007, S. 18–23; Krämer 2018, S. 73)?

Vor dem Hintergrund beständig wachsender Intransparenzen und teils unauflösbarer Opazitäten in der digitaltechnikbasierten Wissensproduktion (vgl. Abschnitt 5.1.3) bleibt aber die Ermittlung von Orientierungspunkten und Entwicklung von Orientierungswissen trotz oder gerade wegen einer fehlenden Außenposition unerlässlich. Individuen sind gefordert, „sich innerhalb unübersichtlicher und kontingenter gesellschaftlicher Bedingungen Orientierung zu verschaffen“, argumentieren MAROTZKI und JÖRISSEN. In diesem Sinne zielen Bildungsprozesse im Kontext gesellschaftlicher Transformationsprozesse darauf ab, „mit Unbekanntem – und möglicherweise unbekannt Bleibendem – umgehen zu lernen“ (Marotzki/Jörissen 2010, S. 23). Hierzu gehören auch Orientierungsstrategien, die auf den Umgang mit einem prinzipiellen *technischen Nichtwissen* abzielen (vgl. Friedrich et al. 2017). In den für diese Studie analysierten Fallbeispielen digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit – soviel kann an dieser Stelle vorweggenommen werden – gelingt eine solche Orientierung weniger durch ein analytisches ‚Auseinandernehmen‘ technischer Strukturen, sondern synthetisch. Synthetisch bezieht sich hier auf erfahrungsisierte Orientierungsstrategien, die auf einer „produktive[n] Verwicklung“ (Allert/Asmussen 2017, S. 27 f.) der Wissenschaffenden mit der Technik gründen und im tentativen und experimentellen Handeln, nicht selten in Form von Trial-and-Error-Verfahren, ihren Ausdruck finden. Dabei kommen Wissenschaffende nicht umhin, digitale Technik selbst auch als *Wissensojekt* bzw. *epistemisches Ding* (vgl. Rheinberger 2006, S. 27) in den Blick zu nehmen, weil digitale Technik im Zuge dieser aktiven Verwicklung mit ihr nicht nur Antworten generiert, sondern stets auch Fragen aufwirft (vgl. Abschnitt 5.3.1) – Fragen, die aber letztlich nicht nur wissenschaftliche Erkenntnisprozesse, sondern auch Bildungsprozesse evozieren können.

1.3 Methodologisch-theoretische Einordnung und Aufbau der Studie

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine multiperspektivische, theoretisch-konzeptionelle Literaturstudie, die an der Schnittstelle von Medien- und Technikphilosophie, Techniksoziologie, Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsforschung angesiedelt ist. Ihre unterschiedlichen theoretischen und disziplinären Bezüge werden dabei im Dienste der in Abschnitt 1.1 skizzierten Forschungsfragen bildungsorientiert perspektiviert und für die medienpädagogische Reflexion anschlussfähig gemacht.⁴ Zielperspektive ist dabei die Frage: Was lässt sich aus diesen Bezügen für Erziehungswissenschaft und Medienpädagogik lernen?

Methodologisch lässt sich der in dieser Studie verfolgte Ansatz als *epistemische Bricolage* bezeichnen: Norman DENZIN und Yvonna LINCOLN haben in ihrem *Handbook of Qualitative Research* die qualitativ Forschenden – und ich ergänze hier auch die geisteswissenschaftlich-hermeneutisch Forschenden – als theoretische, methodologische, interpretative Bricoleure beschrieben (vgl. Denzin/Lincoln 2018, S. 45 f.). In einem Beitrag zur kritischen Pädagogik im selbigen Handbuch fassen Joe L. KINCHELOE, Peter MCLAREN, Shirley R. STEINBERG und Lilia D. MONZÓ den epistemischen Bricoleur so zusammen: „In today’s climate of blurred disciplinary genres, it is not uncommon to find literary theorists doing anthropology and anthropologists writing about literary theory, political scientists trying their hand at ethnomethodological analysis, or philosophers doing Lacanian film criticism. All of these inter- and cross-disciplinary moves are examples of what has been referred to as bricolage – a key innovation, we argue, in an evolving criticality“ (Kincheloe et al. 2018, S. 421). Epistemische Bricolage soll dabei nicht als ‚Ausrede‘ fungieren, um fehlende Präzision zu entschuldigen, indem in etwa disziplinäre Topoi und Ansätze ohne die notwendige Tiefe ‚zusammengewürfelt‘ werden. Epistemische Bricolage wird vielmehr als die heute notwendige Form einer multiperspektivischen forschungs- und wissenschaftsstrategischen Haltung sowie *Form der Kritik* betrachtet, die – so meine Deutung – auch eng mit der Frage nach dem digitalen Wandel verknüpft ist. Als gesamtgesellschaftliches Phänomen mit einem erheblichen kulturprägenden „*Durchdringungscharakter*“ (Euler 1999, S. 170; H. i. O.) ist der digitale Wandel aus der Perspektive einzelner Disziplinen und Fächer kaum erkenntnisweiternd und kritisch zu erörtern. Die Medienpädagogik, in der diese Studie fachlich zu verorten ist, ist dabei selbst ein multidisziplinäres Forschungsfeld und bezieht als „Fractured-Porous Discipline“ (Knaus 2017a, S. 10; vgl. auch Keiner 2017, S. 281) ihre Einsichten aus einer Reihe heterogener Fachdisziplinen und Forschungsfelder, darunter neben der Erziehungswissenschaft, Bildungswissenschaft sowie der Allgemeinen Pädagogik auch aus Medienwissenschaft, Medienphilosophie, Kommunikationswissenschaft, Psychologie und Sozi-

⁴ Aufgrund der Breite des in der vorliegenden Studie verfolgten Ansatzes ist es allerdings nicht zu vermeiden, dass die theoretische Auseinandersetzung mit den genannten Bezügen an vielen Stellen auf weiterführende Vertiefungen zu den einzelnen aufgeworfenen Fragen und Themen verzichten muss – dies stellt zugleich die Unzulänglichkeit interdisziplinärer bzw. multiperspektivischer *Einzelstudien* dar.

logie (vgl. Knaus 2017a, S. 10; Marci-Bohncke/Rath 2014, S. 117 f.). Erweitert werden sollen diese Bezugsfelder im Rahmen dieser Studie um solche, die sich mit dem Begriff der *Technik* befassen.

Technik als Desiderat der Medienpädagogik

Trotz zahlreicher Anknüpfungspunkte für die Auseinandersetzung mit dem Technikbegriff, die im weiteren Verlauf der Studie noch näher in den Blick genommen werden, ist es dem medienpädagogischen Diskurs bisher schwergefallen, sich systematisch mit dem Begriff der *Technik* auseinanderzusetzen. Die tradierte medienpädagogische Reflexion von Fragen zur Handlungs-, Kommunikations- und Teilhabefähigkeit in von technischen bzw. technikbasierten *Medien* geprägten Gesellschaften hat bislang nur wenig die Frage nach der *Technik* selbst in den Fokus gerückt. Daran überrascht zweierlei: Erstens wird dabei vernachlässigt, dass in den Medienwissenschaften, die als medienpädagogische Bezugsdisziplin gilt (vgl. Knaus 2017a, S. 10 f.), *Technik* neben dem Begriff der *Praxis* längst zum Leitbegriff medienwissenschaftlicher Theoriedebatten avanciert ist (vgl. Ernst 2017, S. 11). Während die Bezugnahme auf Praxistheorien und den Praxisbegriff gerade im Zusammenhang digitaler Medien auch Eingang in den medienpädagogischen Diskurs gefunden hat (vgl. u. a. Bettinger/Hugger 2020) und die Medienpädagogik aufgrund ihrer Fundierung in handlungstheoretischen Bezügen (vgl. Baacke 1996) ohnehin eine Affinität zu praxis- und handlungstheoretischen Deutungen medienpädagogischer Fragestellungen aufweist, bleibt der Technikbegriff im aktuellen Diskurs noch unterbelichtet. Zweitens überrascht die Vernachlässigung des Technikbegriffs im medienpädagogischen Diskurs aber auch deswegen, weil die medienpädagogische Auseinandersetzung mit Medien und digitalen Medien von einem genuin *technischen* Medienbegriff ausgeht, wie unten noch genauer in den Blick genommen wird.

Während die medienpädagogische Perspektive schwerpunktmäßig vom Medienbegriff geprägt wurde, stellt eine tiefergehende Beschäftigung mit dem Begriff der *Technik* ein Desiderat dar (vgl. u. a. Knaus 2020, S. 47). Thomas KNAUS führt die Technikvergessenheit der Medienpädagogik u. a. auch auf „[h]abituellisierte Disziplingrenzen“ (ebd., S. 47) zurück. Auf den tradiert *technikpessimistischen* Diskurs in der deutschsprachigen Medienpädagogik verweisen auch Mirjam SCHMID und Dominik PETKO (2020) – u. a. in Rekurs auf das von Niklas LUHMANN und Karl Eberhard SCHORR argumentierte „Technologie-defizit“ pädagogischen Handelns (Luhmann/Schorr 1982). LUHMANN und SCHORR skizzieren in ihrem programmatischen Aufsatz, dass pädagogische Prozesse nicht in Kausalzusammenhängen und damit in als technisch aufgefassten Relationen zu fassen seien, was auch als Begründung für die pädagogische Nichtbeschäftigung mit dem Technikbegriff gedeutet werden kann. Vor diesem Hintergrund liest sich die technikpessimistische Auffassung von Pädagogik und Medienpädagogik zunächst als Zustimmung zur Auffassung einer prinzipiellen *Nichttechnisierbarkeit pädagogischer Prozesse*. Im pädagogischen und medienpädagogischen Diskurs, darauf verweisen auch SCHMID und PETKO (vgl. Petko 2020, S. 128), suchte beispielsweise Heinz MOSER (2005) „Wege aus der Technikfalle“ und Klaus ZIERER (2017) prägte das Postulat „Pädagogik vor Technik“.

Neben tradierten Berührungsängsten gegenüber der Technik in Bildungstheorie und Pädagogik (vgl. Abschnitt 1.2), kann der spezifisch medienpädagogische Verzicht auf die Auseinandersetzung mit dem Begriff der Technik auch auf ihren Fokus auf den Medienbegriff zurückgeführt werden, der klassischerweise weniger in seinen technischen Dimensionen als in seiner Bedeutung für Kommunikation und Teilhabe verhandelt wird. Diese Ausrichtung der medienpädagogischen Blickrichtung ist maßgeblich auch auf die Prägung des Medienbegriffs durch die Arbeiten von Dieter BAACKE (vgl. Baacke 1973, 1996) und dessen Bedeutung für die Konzeption von *Medienkompetenz* zurückzuführen. BAACKE konzipiert Medienkompetenz als besondere Form der *kommunikativen Kompetenz* HABERMAS'scher Prägung. Er bezieht sich dabei auch auf die von Noam CHOMSKY entwickelte Vorstellung von Kommunikationskompetenz und erweitert diese (vgl. Knaus/Merz/Junge 2023, S. 1–3; Tulodziecki/Herzig/Grafe 2019, S. 183). Diese Auffassung prägt bis heute die in der Medienpädagogik vorherrschende Vorstellung von Medien als im Wesentlichen *Kommunikationsmitteln*. Dabei führte die prägende Vorstellung von Medien als „Performanzverstärker“ kommunikativer Handlungen Werner SESINK zufolge in der Vergangenheit zur Vernachlässigung der technischen und heute vor allem informations- bzw. digitaltechnischen Dimensionen der Medien, die entsprechend lange Zeit auch in gängigen Vorstellungen von Medienkompetenz vernachlässigt worden waren (Sesink 2006/2007, S. 101 f.). Heidi SCHELHOWE kritisierte in diesem Zusammenhang, dass auch die heutigen *digitalen* Medien in der medienpädagogischen Diskussion lange vor allem als nahtlose Fortsetzung vorangegangener Medien diskutiert wurden und deren spezifische technisch-technologische Verfasstheit als *digitale* Medien dabei oft nicht berücksichtigt wurde (vgl. Schelhowe 2016, S. 43). Petra MISSOMELIUS attestiert dem medienpädagogischen Diskurs auch insgesamt einen „unterdimensionierte[n]“ Technikbegriff (Missomelius 2022, S. 7), der Technik in ihrer technizistischen Verkürzung als ‚bloßes‘ Mittel denkt.

Während der Technikbegriff selbst in der medienpädagogischen Reflexion zwar nicht im Fokus steht, so geht sie dennoch implizit von einem *technischen* Medienbegriff aus. Heike SCHAUMBURG und Doreen PRASSE (2019) attestieren der Medienpädagogik in ihrem einführenden Werk *Medien und Schule* einen, wenn auch nicht explizit diskutierten, so doch als *technisch* bezeichneten Medienbegriff, der ihrer Auseinandersetzung mit den als Tertiär- und Quartärmedien bezeichneten elektronischen Medien unterliegt (vgl. Schaumburg/Prasse 2019, S. 23). Auch Gerhard TULODZIECKI skizziert einen von ihm als *technisch* gedachten Medienbegriff, auf den sich die im Feld der Medienpädagogik prominenten Konzepte der Medienerziehung, Mediendidaktik und Medienkompetenz beziehen, und bringt dabei eine spezifische, wenn auch ebenfalls nicht explizierte, Auffassung des Begriffs der Technik zum Ausdruck. Zwar basiere der medienpädagogische Medienbegriff auf zeichentheoretischen Deutungen vom Medium, sei aber zugleich von der Auffassung geprägt, dass „potenzielle Zeichen in objektivierter Form vorliegen“ beziehungsweise „mit *technischer Unterstützung* erzeugt, übertragen, gespeichert, verarbeitet oder wiedergegeben werden“ (Tulodziecki 2011, S. 28; Herv. OM). Dieser technisch gedeu-

tete Medienbegriff bezieht sich dabei sowohl auf die „technischen Geräte bzw. die Einrichtungen zur Erzeugung, Übertragung, Speicherung, Wiedergabe oder Verarbeitung von potenziellen Zeichen als auch [auf] die dazugehörigen Materialien bzw. die Software sowie deren funktionales Zusammenwirken bei der Kommunikation“, so heißt es in der weiteren Diskussion von Gerhard TULODZIECKI, Bardo HERZIG und Silke GRAFE in ihrem Band *Medienbildung in Schule und Unterricht* (Tulodziecki/Herzig/Grafe 2019, S. 33).

Allerdings sei Medium nicht mit dem technischen Gerät gleichzusetzen, denn dadurch entstünde die Gefahr, „das Medium auf das wahrnehmbare Interface zu beschränken und daraus gegebenenfalls sogar abzuleiten, dass das Bedienen des Interface einen hinreichend kompetenten Umgang mit dem Medium bedeute“. Vergessen werde dabei die „komplexe technologische Architektur ‚hinter‘ dem Interface, die erst die besonderen Interaktionsarten, Ausdrucksformen und Medienbeiträge sowie die mit der Vernetzung verbundenen Anwendungen ermöglicht“ (Tulodziecki/Herzig/Grafe 2019, S. 33). Zum Ausdruck kommt darin die Auffassung, dass sich der Medienbegriff vor allem im Zusammenhang zeichentheoretischer Ansätze (vgl. Herzig 2001) in Kombination mit Vorstellungen der *technischen Objektivierung* von Zeichen in Kommunikationszusammenhängen konstituiert. Daher schlagen TULODZIECKI, HERZIG und GRAFE für medienpädagogische Zusammenhänge vor, „*Medien als Mittler zu verstehen, durch die in kommunikativen Zusammenhängen potenzielle Zeichen mit technischer Unterstützung aufgenommen bzw. erzeugt und verarbeitet, übertragen, gespeichert oder wiedergegeben bzw. präsentiert werden und verfügbar sind*“ (Tulodziecki/Herzig/Grafe 2019, S. 33; H. i. O.). Es lässt sich behaupten, dass im von den Autoren und der Autorin konturierten Medienbegriff die Vorstellungen sowohl von Technik als auch Medium im Begriff der *Vermittlung* konvergieren. Medien – zumindest die, für die die medienpädagogische Theoriebildung sich interessiert – ermöglichen demnach die „technisch vermittelten und technisch verfügbaren Formen der Erfahrung“ (ebd., S. 32). Technisch „vermittelt“ bedeutet aber auch, dass Technik selbst hier *als* Medium fungiert, technische Prozesse also für die Medialität der im medienpädagogischen Interesse stehenden (Kommunikations-)Medien sorgt. Dieses – auch bereits im medientheoretischen und medienphilosophischen Diskurs nachvollziehbare (Hubig 2006, S. 147) – Zusammendenken von Technik und Medium bzw. Technik *als* Medium kann auch Anschlüsse für die (medien)pädagogische Auseinandersetzung mit der Technik liefern (vgl. Abschnitt 2.3.2).

Ansätze zur theoretischen Auseinandersetzung mit Technik bzw. jenen den Medien unterliegenden technischen Strukturen gibt es in der medienpädagogischen Diskussion bereits. So hat beispielsweise Thomas KNAUS das BAACKE'sche Medienkompetenzmodell aufgegriffen und dessen Dimensionen von Medienkritik, Medienkunde, Mediennutzung und Mediengestaltung um dazu passende Dimensionen der Reflexion, Nutzung und Gestaltung der *digitalen Technik* erweitert (vgl. Knaus 2022, S. 59). In jüngerer Zeit findet im Kontext der Frage nach der *Digitalität* der Medien (vgl. Jörissen 2014) und im Kontext der Diskussion um eine *Kultur der Digitalität* (vgl. Bröckling/Fries/Narr 2023) auch in der medienpädagogischen Theoriebildung zunehmend eine Auseinandersetzung mit den materiellen, strukturellen und konzeptionellen Grundlagen *digitaler* Medien statt, und das

heißt konkret mit der diesen Medien unterliegenden *Technik* (vgl. Jörissen/Verständig 2017; Knaus 2020; Richter/Allert 2020), wenn dabei auch der Begriff der Technik selbst nicht im Vordergrund steht.

Dabei haben den medienpädagogischen Diskurs um das ‚Digitale‘ in den letzten Jahren u. a. die Arbeiten der *Software Studies* erweitert, so beispielsweise die Arbeiten von Lev MANOVICH (vgl. Manovich 2001, 2013; vgl. auch Eder/Mikat/Tillmann 2017). Im Vordergrund steht hier die Einsicht, dass unter digitalen Medien vor allem auch durch Softwaretechnik gesteuerte und steuerbare symbol- bzw. zeichenverarbeitende Medien zu verstehen sind. In diesem Kontext erhält gerade die digitale Technik auch Anschlussmöglichkeiten an bereits im medienpädagogischen Diskurs etablierte zeichentheoretische Deutungen des Medienbegriffs (vgl. Herzig 2001; Spanhel 2010). So schreibt Bardo HERZIG, dass der „Umgang mit Informatiksystemen [...] aus einer medienpädagogischen Perspektive insbesondere das Verstehen und Bewerten computerbasierter Zeichen“ umfasste. Diese seien zugleich das „Ergebnis eines semiotischen Prozesses, in dem Technik eine herausragende Rolle spielt“ (Herzig 2001, S. 22). Gerade dieses Kaprizieren auf die Verarbeitung computerbasierter Zeichen lenkte die Berücksichtigung digitaltechnischer Strukturen im jüngeren medienpädagogischen Diskurs vor allem auf die zeichen- bzw. symbolverarbeitenden Dimensionen der Technik, hier im Wesentlichen auf die Themenfelder Daten, Algorithmen und Software, die u. a. in Rückbezügen auf englischsprachige Arbeiten der Software Studies (vgl. Fuller 2008b; Kitchin/Dodge 2011; Manovich 2001), Critical Data Studies (vgl. boyd/Crawford 2013; Hepp/Jarke/Kramp 2022), Critical Code Studies (vgl. Chun 2011; Marino 2020) und Critical Algorithm Studies (vgl. Beer 2017; Kitchin 2017, 2014b) Eingang in die medienpädagogische Auseinandersetzung finden (vgl. Dander/Abmann 2015; Gapski 2015; Jörissen/Verständig 2017; Richter/Allert 2024; Verständig 2021; Verständig et al. 2022). Alle Bereiche jener Critical Studies beleuchten jeweils unterschiedliche symbolbasierte Dimensionen digitaltechnischer Strukturen, bisher allerdings in keiner übergreifenden Systematik, die physische, objektbasierte, zeichenbasierte, performative und mediale Dimensionen digitaler Technik integriert und die Aufschluss darüber gibt, in welchen Dimensionen sich die in der digitalen Technik objektivierten Wirkzusammenhänge realisieren.

Einen systematisch-integrativen Ansatz auf die Analyse digitaltechnischer Strukturen gibt KNAUS: Anhand seines Interaktionsmodells *Mensch-Medium-Maschine* (vgl. Knaus 2020, S. 27) systematisiert er unterschiedliche Ebenen digitaler Technik, die von ihrer medialen Oberfläche, über ihre Applikationsebene bis hin zu ihrer physischen Basis reichen. Zur Fundierung seines Ansatzes produktiven Medien- und Technikhandelns diskutiert KNAUS anhand des Modells unterschiedliche „Tiefen“ (ebd., S. 26) menschlicher Eingriffsmöglichkeiten in die digitale Technik. Er geht dabei also von prinzipiellen Eingriffsmöglichkeit in diese technischen Strukturen und damit von einer prinzipiellen Offenheit der Technik aus. Auch die Analyse der vorliegenden Studie basiert auf einer *drei-dimensionalen Systematik* digitaler Technik, unterscheidet dabei aber nicht Eingriffstiefen, sondern Funktionen, und zwar ihre objektivierenden (digitale Technik als Objektstruktur), performativen (digitale Technik im Vollzug) und vermittelnden (digitale Tech-

nik als Interface) Funktionen. Ziel dieser Systematik ist es, den *ambivalenten Charakter* jeder dieser digitaltechnischen Dimensionen aufzuzeigen (vgl. Abschnitt 3).

Eine weitere Möglichkeit der systematischeren Verortung digitaler Technik ergibt sich für den medienpädagogischen Diskurs durch den Anschluss an die Informatik bzw. Informatikdidaktik. Einen integrativen Zugang zur digitalen Technik im Anschluss an die Informatik hat beispielsweise Heidi SCHELHOWE (1997) in ihrem Buch *Das Medium aus der Maschine* sowie daran anknüpfende Arbeiten (vgl. u. a. Schelhowe 2007b, 2016) vorgelegt und für den medienpädagogischen Diskurs anschlussfähig gemacht. In diesem hat sie die unterschiedlichen informationstechnischen Konzeptionen des Computers als *Maschine*, *Werkzeug* und *Medium* systematisiert und dabei den Wandel der Rechnemaschine zum Medium beschrieben. In jüngerer Zeit haben u. a. multidisziplinäre Initiativen zur Integration von Technik- und Bildungskonzepten beigetragen, so beispielsweise im Kontext der Entwicklung der Reflexionsmodelle *Dagstuhl-Dreieck* (vgl. GI 2016) und des daran anknüpfenden Modells *Frankfurt-Dreieck* (vgl. Brinda et al. 2020). In beiden Reflexionsmodellen wurde im Anschluss an die deutschsprachige Auseinandersetzung mit dem bildungspolitischen Postulat einer *Bildung in der digitalen Welt* (vgl. KMK 2017) eine erweiterte, auch die technischen bzw. technologischen Aspekte des digitalen Wandels umfassende, Bildungsorientierung „im digitalen Wandel“ aufgezeigt. So wird Technik als integrativer Teil eines umfassenden Transformationsprozesses aufgefasst, in dem technologisch-mediale, gesellschaftlich-kulturelle und interaktionsbezogene Dimensionen (Frankfurt-Dreieck) bzw. technologische, gesellschaftlich-kulturelle sowie anwendungsbezogene Perspektiven (Dagstuhl-Dreieck) einer „Bildung in der digitalen Welt“ verknüpft werden (vgl. Brinda et al. 2020, S. 160–165; GI 2016, S. 5).

Um dem nach wie vor vorhandenen Desiderat einer Konturierung des Technikbegriffs in der (medien-)pädagogischen Auseinandersetzung zu begegnen sowie in Anknüpfung an jüngere Initiativen, die *digitale Technik* als Reflexionsgegenstand im pädagogischen und medienpädagogischen Diskurs zu etablieren, setzt sich die vorliegende Studie dediziert mit dem Begriff der *Technik* auseinander, um davon ausgehend Spezifika *digitaler Technik* für Erkenntnisprozesse und die wissenschaftliche Wissensproduktion in den Blick zu nehmen, die wiederum Aufschluss über *Orientierungsmöglichkeiten* „in der digitalen Welt“ geben können. Da auch die Medienpädagogik implizit von einem technischen Medienbegriff ausgeht, diesen aber in der Form noch nicht expliziert und systematisiert hat, soll die in der Studie vorgenommene Analyse von Technikkonzeptionen zu einer medienpädagogisch anknüpfbaren Systematisierung des Technikbegriffs – auch in seinem Bezug zum *Medienbegriff* – beitragen. Zum Tragen kommen dabei insbesondere Perspektiven aus der Technikphilosophie (vgl. u. a. Hui 2016, 2019; Krämer 1988; Rohbeck 1993; Ropohl 2016; Simondon 2012), der Techniksoziologie (vgl. u. a. Rammert 2016; Schulz-Schaeffer 2000) sowie der Wissenschafts- und Technikforschung (vgl. u. a. Gramelsberger 2010; Rheinberger 2006; Joerges/Shinn 2001a). Aufgrund der Auseinandersetzung mit dem digitalen Wandel in den *Wissenschaften* finden zudem auch erkenntnis-, wissenschafts-, und wissenstheoretische Bezüge Eingang in die Diskussion (vgl. u. a. Blumenberg 1952, 2020; Gramelsberger 2000; Polanyi 1969, 2016, 2002).

Aufbau und Kerngedanken der Studie

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der Begriff der Technik „schillernd“ (Weber 2003, S. 119) und vage ist, werden in den Abschnitten 2 und 3 zunächst ausgewählte Technikkonzeptionen sowie eine Systematik der digitalen Technik skizziert, darunter insbesondere solche, die auf den *ambivalenten* Charakter von Technik und digitaler Technik verweisen. Ziel ist es aufzuzeigen, dass Technik sich in einem Spannungsfeld zwischen *Fixierung* und Struktur auf der einen Seite und *Möglichkeitsraum* auf der anderen Seite bewegt. Als Fixierung kann Technik auf einer basalen Ebene als etwas verstanden werden, in dem „Formen fixiert werden, die erwünschte Effekte erwartbar und berechenbar machen“, so dass diese „kontextfrei wiederholbar“ werden (Rammert 2016, S. 123). In diesem Sinne markiert Technik einen Dekontextualisierungsprozess, der dafür sorgt, dass Techniken von Menschen nutzbar werden, die diese weder selbst erdacht noch konstruiert haben. Menschen können also vom Wissen, das in technische Objekte und Infrastrukturen eingeflossen ist, für eigene Handlungsziele profitieren, ohne sich dieses Wissen selbst aneignen zu müssen. Technische Fixierungen begegnen uns dabei oft als Abkürzungen: als „Griff zum Schalter, mit dem das Licht angeht oder als der Druck auf den Knopf, mit dem unser Notebook „bootet“ (Gehring 2007, S. 356). Hinter diesen Abkürzungen verborgen bleibt aber eine lange Vorgeschichte menschlicher Entdeckungen (vgl. Blumberg 2020, S. 30–40). Eine solche Form der Verdeckung ist dabei der „Preis“, den Menschen zahlen müssen, „um einmal Geleistetes weitergeben zu können, ohne das Rad immer wieder neu erfinden zu müssen“ (Ingo Schulz-Schaeffer 2000, S. 46). In ihrer Ablösbarkeit aus ihrem Entstehungszusammenhang wird Technik zugleich aber auch der Handhabe ihrer Nutzerinnen und Nutzer preisgegeben: Dabei zeigt die Geschichte der Technik, dass Techniken während ihres Gebrauchs immer auch andere Möglichkeiten offenbaren, „als zur Zeit ihrer Planung und Herstellung bezweckt waren“ (Rohbeck 1993, S. 219). Seit der Industrialisierung wird Technik nicht mehr allein für vordefinierte Zwecke konstruiert. Vielmehr werden in ihr „Potenzen [...] für freibleibende Zwecke“ (Freyer 1970, S. 139) sowie ein „*Spiel der Möglichkeiten*“ (Rohbeck 1993, S. 224; H. i. O.) technisch verfügbar gemacht. Dieser Doppelcharakter von Technik zwischen fixierenden und begrenzenden Eigenschaften und Technik als Möglichkeitsraum setzt sich auch in der *digitalen Technik* fort (vgl. Abschnitt 3) und wird in dieser Studie sowohl in ihren objektbezogenen (vgl. Abschnitt 3.2) als auch performativ-algorithmischen Dimensionen (vgl. Abschnitt 3.3) sowie in ihrer Funktion als Interface (vgl. Abschnitt 3.4) nachvollzogen.

Nach der Auseinandersetzung mit den Konzeptionen von Technik und digitaler Technik wird in einem zum Kernteil der Studie überleitenden Abschnitt die Bedeutung von Technik für Wissenschaft und Bildung vor dem Hintergrund des wissenschaftlichen *Methodenbegriffs* analysiert (vgl. Abschnitt 4). In Rückgriff auf den Philosophen und Pädagogen Theodor LITT wird hier der *bildende Charakter* wissenschaftsmethodischen Denkens in den Fokus gerückt, denn durch methodisches Denken vollzieht sich im Menschen ein Bildungsprozess von einer „un- oder vorwissenschaftlichen Weltempfängnis“ hin zu einer „methodisch disziplinierten“ (Litt 1954, S. 78). Ein bildender Charakter wird in dieser Studie auch für die digitale Technik postuliert und dabei gefragt: Wie *formt* die digitale

Technik Erkenntnisobjekte? Wie *diszipliniert* sie Verstehensmöglichkeiten von Erkenntnissubjekten? Aber auch: Welche *Möglichkeitsräume* zur Wissensgenese entstehen in ihr? Deutlich werden soll, dass Erkenntniswege durch digitale Technik zwar *vorstrukturiert*, aber nicht *determiniert* werden: Auch die digitale Technik eröffnet zahlreiche *Potenzen für freibleibende Zwecke* und kann so gerade für Wissenschaffende zum *Experimentalraum* werden, wie im anschließenden Kernteil der Studie analysiert wird.

In Abschnitt 5 wird die zuvor entfaltete Ambivalenz digitaler Technik im Kontext digitaler *Forschungstechnik* und anhand von Fallbeispielen aus Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften exemplifiziert. Digitale Forschungstechnik, so wird dabei argumentiert, oszilliert zwischen *generischen* und *generativen* Dimensionen, wobei generisch für die rahmende Struktur und technische Fixierung und generativ für den in der Technik entstehenden produktiven Möglichkeitsraum steht. Als generisches Allgemeines bildet digitale Technik eine Art *lingua franca*, die die Wissensproduktion uniformiert, dabei Wissenszusammenhänge auch verbirgt, zugleich aber Wissensgemeinschaften vernetzt und für Durchlässigkeiten sorgt (vgl. Abschnitt 5.1). Als generative Technik fungiert digitale Technik als Experimentalraum, der trotz ihrer fixierenden und rahmenden Eigenschaften Erkenntnisprozesse nicht lediglich vorzeichnet, sondern in dem Forschende durch „*produktive Verwicklung*“ (Allert/Asmussen 2017, S. 27 f.) mit der Technik auch Neues und Überraschendes zutage befördern können. In Rekurs auf die Analyse von Hans-Jörg RHEINBERGER (2006, 2005) entpuppen Forschende sich hier als ‚Bastler‘, die durch aktives Eingreifen, Konfigurieren und Umdefinieren Erkenntnisgegenstände tentativ aus ihrer technischen Rahmung ‚herausschälen‘ können. In ihrer Verwicklung mit dem Menschen sind digitaltechnische Experimentalsysteme damit Anordnungen, die trotz ihrer Rahmung und Struktur deutungsoffen bleiben. Beispielhaft analysiert wird dieser digitaltechnische Experimentalraum anhand konkreter Verfahren und Techniken in unterschiedlichen Forschungsfeldern und Disziplinen, darunter im Kontext von Big Data, Machine Learning, von QDA-Software, des KI-basierten Proteindesigns, der Datenvisualisierung und Computersimulation (vgl. Abschnitt 5.2).

Was bedeuten die analysierten Eigenschaften digitaler Technik und die damit zusammenhängenden Formen wissenschaftlichen Handelns für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten in der digitalen Welt? Zur Beantwortung dieser Fragen werden im Abschnitt 5.3 die Einsichten aus der Analyse digitaler Forschungstechnik zu einer Epistemologie digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit verdichtet. Die dabei mit *Immanenz*, *inhärente Offenheit*, *Intransparenz*, *Iterabilität* sowie *interessengeleitetes Forschen* benannten Charakteristika können zugleich als Orientierungspunkte und Orientierungsstrategien „in der digitalen Welt“ gedeutet werden. Zu zeigen ist, dass in der interessengeleiteten produktiven Verwicklung mit den technischen Systemen, bei der Technik nie bloß Antworten liefert, sondern immer auch Fragen und Unbestimmtheitsräume aufwirft, Anknüpfungspunkte für eine Bildungsperspektive liegen, denn Bildung, so Winfried MAROTZKI, lebt vom „Spiel mit Unbestimmtheiten“ (Marotzki 1990, S. 153). Aus der Position einer interessengeleiteten, forschungsorientierten Haltung und zugleich erfahrungs-basierten produktiven Verwicklung mit der Technik ist Orientierung dabei auch dann

möglich, wenn Teile der Technik analytisch undurchschaubar bleiben. Benötigt werden dafür aus pädagogischer Sicht Konzepte, über die Technik als handlungsleitendes *Mittel* zur Erlangung eigener Ziele und Interessen und Technik als *Reflexionsobjekt* verknüpfbar werden. Dafür wird aufbauend auf Heinz-Joachim HEYDORNS Auseinandersetzung mit dem Widerspruch von Bildung und Herrschaft zu Beginn des vorletzten Abschnitts 6 zunächst nach *technikimmanenter* und *integrativer* Möglichkeiten der Technikreflexion gefragt, durch die sich Technik als *Mittel* und als *Bildungsobjekt* verknüpfen lassen (vgl. Abschnitt 6.1). Technikreflexion ist dabei aber nie ein rein intellektueller Vorgang, sondern erfolgt stets *im Handeln*, z. B. beim aktiven Verändern oder im Rahmen der kreativen ‚Konversation‘ mit dem technischen Objekt. Dies reflektiert eine pragmatische Perspektive, wie sie u. a. John DEWEY (1938; 2008) und Donald SCHÖN (1983) aufgezeigt haben und wie sie in der Medienpädagogik u. a. in Konzepten der *Aktiven Medienarbeit* (vgl. Schell 2003) zum Ausdruck kommt. Argumentiert wird in diesem Zusammenhang, dass Orientierung nicht durch die einfache Übernahme expliziten Regel- und Handlungswissens möglich wird, sondern durch *bildende Erfahrung*, die neben der *forschenden* Grundhaltung auch auf der Berücksichtigung der *impliziten* Dimensionen des Wissens basiert und die letztlich, so die Argumentation, die Entwicklung *technischer Intuition* erlaubt (vgl. Abschnitt 6.2). Im Anschluss werden auf Grundlage der im Hauptteil der Studie analysierten Spannungsfelder digitaler (Forschungs-)Technik Wegmarken einer solchen erfahrungsbasierten Orientierung aufgezeigt: Darunter fällt die Manipulierbarkeit digitaler Objekte, die aufgrund der inhärenten Offenheit und interpretativen Flexibilität digitaltechnischer Strukturen Aneignungs- und Reflexionsprozesse ermöglicht. Als weitere Wegmarken werden die Ermöglichung von Unbestimmtheit und Scheitern als Reflexionsanlässe diskutiert. Schließlich werden *ästhetische Erfahrung*, *Spiel* und *Konstruktion* als technikimmanente Reflexionsmöglichkeit in den Blick genommen (vgl. Abschnitt 6.3). Für die bildungsorientierte Auseinandersetzung mit den Spannungsfeldern digitaler Technik bilden im Rahmen der vorliegenden Studie insbesondere Bezüge zur kritischen (vgl. u. a. Euler 1999; Heydorn 2004a, 2004b, 2004c) sowie strukturalen Bildunsttheorie (vgl. u. a. Jörissen/Marotzki 2009; Marotzki 1990), zur Theorie des impliziten Wissens (vgl. u. a. Polanyi 2016), zur pragmatischen Theorieposition (vgl. u. a. Dewey 2008, 1938; Kerres/de Witt 2004) sowie zur konstruktionistischen Lerntheorie (vgl. u. a. Papert 2020; Resnick 2020; Robben/Schelhowe 2012a) zentrale Bezugspunkte.

Nun ist es aber die Krux vieler technischer Mittel, dass sie als Mittel der Entlastung menschlicher Arbeits- und Denkvorgänge ihren Wert daraus gewinnen, dass Nutzende gerade *nicht* über sie nachdenken müssen, um sie für eigene Handlungszwecke einsetzen zu können. Im abschließenden Teil der Studie wird daher dafür plädiert, dass für ein Nachdenken über Technik dedizierte Bildungsräume notwendig werden, in denen diese jenseits rein funktionaler Leistungserwartungen an Technik und Mensch in den Blick genommen werden kann. Zugleich besitzt gerade die digitale Technik zahlreiche Eigenschaften, die es ermöglichen, ein Nachdenken über sie mit ‚systemeigenen Mitteln‘ tentativ und kreativ zu befördern (vgl. Abschnitt 7).

2. Technik als Mittel und Möglichkeitsraum

2.1 Technik als Mittel, Infrastruktur, Bildung und Agency

In diesem Abschnitt werden einführend einige Technikkonzepte erörtert, die u. a. für die spätere Systematisierung der digitalen Technik sowie die bildungsorientierte Auseinandersetzung mit Technik und digitaler Technik weiterführend sind.

Technik als Mittel

Was soll nun im Rahmen dieser Studie unter *Technik* verstanden werden? Aufgrund seiner Interpretationsvielfalt ist der Technikbegriff „schillernd“ (Weber 2003, S. 119), denn unterschiedlich ausdifferenzierte Definitionen von Technik, nicht selten auch konkurrierende, gibt es zahlreiche (vgl. Grunwald 2021, S. 19). Die Vielfalt der Technikvorstellungen findet nach Max WEBER jedoch im Begriff des *Mittels* einen gemeinsamen Referenzpunkt (vgl. Hubig 2006, S. 108). WEBER beschreibt Technik als „Inbegriff der Mittel“ (ebd., S. 107; Weber 2005, S. 44). *Inbegriff* deutet aber Christoph HUBIG zufolge auf ein gemeinsames „Interesse“, das Mittel „kategorial inhomogener Art“ zu versammeln mag. Für Max WEBER liegt dieses gemeinsame Interesse der Technik in der *planvollen* und *bewussten Verwendung von Mitteln* (vgl. Weber 2005, S. 44). WEBER begründet damit einen *weiten Technikbegriff* (vgl. Hubig 2021, S. 123), der von der „Gebetstechnik“ über die „Erziehungstechnik“ bis zur „erotische[n] Technik“ alle Handlungszusammenhänge als technisch rational definiert, die „bewusst und planvoll“ (Weber 2005, S. 44) sind und dabei einen rationalen Zweck verfolgen. Als rational können Handlungsschemata, die als technisch bezeichnet werden sollen, vor allem dann gelten, wenn sich das bewusste und planvolle Handeln idealerweise auch am wissenschaftlichen Handeln orientiert (vgl. ebd., S. 44).⁵ Damit stellt WEBER technisches Handeln in den Kontext wissenschaftlichen Handelns und deutet so auf die strukturellen Ähnlichkeiten seiner Auffassungen vom technisch-rationalen sowie wissenschaftlichen Handeln.

Dass Menschen Hilfsmittel für bestimmte Zwecke entwickeln, die ihnen ein solches rationales „Handeln [...] als planvolles antizipierendes Vollziehen“ ermöglichen, gilt bereits in der Vor- und Frühgeschichte des Menschen als „Indiz für das Auftreten des Homo sapiens“ (Hubig 2006, S. 107). Für solche planvollen antizipierenden Vollzüge dienen technische (Sach-)Mittel als „künstlich erzeugte und in der einen oder anderen Weise festgelegte Wirkungszusammenhänge, die genutzt werden können, um hinreichend zuverlässig und wiederholbar bestimmte erwünschte Effekte hervorzubringen“ (Schulz-

⁵ So formuliert WEBER: „‘Technik’ eines Handelns bedeutet uns den Inbegriff der verwendeten Mittel desselben im Gegensatz zu jenem Sinn oder Zweck, an dem es letztlich (*in concreto*) orientiert ist, ‚rationale‘ Technik eine Verwendung von Mitteln, welche bewußt (sic!) und planvoll orientiert ist an Erfahrungen und Nachdenken, im Höchstfall der Rationalität: an wissenschaftlichem Denken. Was *in concreto* als ‚Technik‘ gilt, ist daher flüssig: der letzte Sinn eines *konkreten* Handelns kann, in einem *Gesamtzusammenhang* von Handeln gestellt, ‚technischer‘ Art, d. h. Mittel im Sinn jenes umfassenderen Zusammensanges sein“ (Weber 2005, S. 44).

Schaeffer 2008, S. 1). Potenziert wird diese Auffassung von Technik als objektivierter Wirkungszusammenhang, wenn diesem idealerweise noch ein möglichst eindeutiger Charakter zukommt. Demnach liefert der „Idealtyp einer zuverlässigen Technik [...] für eine eindeutige festgelegte Menge von Inputs über eine eindeutig festgelegte Abfolge von Ursache-Wirkungs-Schritten eine eindeutig festgelegte Menge von Outputs, sodass mit hoher Erwartungssicherheit für jeden Input der zugehörige Output produziert wird“ (ebd., S. 2).

Problematisch wird die Vorstellung der Technik als Mittel der Herstellung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen allerdings, wenn Technik auf einen Nützlichen hervorbringenden Gebrauchsgegenstand reduziert wird, den Menschen lediglich *anwenden*, der aber auf ihr Selbstverständnis als handelnde Menschen keinen Einfluss ausübt. Wenn heute zum Beispiel in Kontexten des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns methodisches – im Sinne von systematischem und planvollem – Vorgehen bereits ganz selbstverständlich durch digitale Technik „gestützt“ wird, schwingt dabei die Idee der Neutralität des verwendeten Mittels oft noch mit. So ist beispielsweise immer wieder die Rede davon, wissenschaftliches Wissen werde mit Unterstützung des Computers, also „computer assisted“, erzeugt, wie beispielsweise im Zusammenhang der „computergestützten“ (Kuckartz 2007, S. 15) qualitativen Datenanalyse häufig zu lesen ist. Diese erfolgt mit Hilfe des Einsatzes von *Computer-Assisted Qualitative Data Analysis Software* wie dem Programm MAXQDA (vgl. Rädiker/Kuckartz 2019). Erweckt wird in dieser Formulierung der Anschein, dass tradierte Art und Weisen des qualitativen Forschens durch den Einsatz von Technik als ‚bloßem‘ Hilfsmittel gänzlich unberührt bleiben. Dass dies nicht der Fall ist, wird zwar auch in der Reflexion qualitativer Forschungsmethoden problematisiert (vgl. Herkommer 2012), führt aber längst noch nicht zu einer Änderung des Sprachgebrauchs, der weiterhin die Vorstellung von Technik als ‚bloßem‘ Mittel reproduziert. Im Folgenden erfolgt daher eine *Problematisierung* der Vorstellung von Technik als Mittel zum Zweck, die jedoch nicht darauf abzielt, die Zweckmäßigkeit technischer Mittel an sich infrage zu stellen. Vielmehr wird argumentiert, dass Technik in ihrer symbiotischen Verwicklung mit menschlichen Handlungsvollzügen sowie im Kontext ihrer systemischen, infrastrukturellen Ausprägung stets *mehr* als ‚bloßes‘ Mittel ist.

In Anklang an WEBERS Vorstellung zweckrationalen Handelns und des zweckrationalen Mitteleinsatzes unterscheidet Günter ROPOHL aus technikphilosophischer Sicht zwischen artefaktisch-objektivierten Dimensionen und handlungsbezogenen Dimensionen der Technik. Dabei stellt er einen enger gefassten Technikbegriff der Ingenieurwissenschaften einem vor allem in der Soziologie adaptierten weitgefassten Technikbegriff gegenüber und schlägt daran anknüpfend einen Mittelweg vor. Der weitgefasste Technikbegriff ist ROPOHL zufolge nahezu ausschließlich handlungsorientiert und schließt wie bei WEBER jeden „zweckrationalen Einsatz von Mitteln“ ein; Technik meint dabei also weniger das physisch-gegenständliche Artefakt, sondern den Kontext des „menschlichen Können[s]“. Dieser Auffassung zufolge könnte prinzipiell jede „regelgeleitete und planmäßig als Mittel eingesetzte Fertigkeit in beliebigen Bereichen menschlichen Handelns“ als Technik gelten (Ropohl 2001, S. 16; Ropohl 2016, S. 17). Dagegen betont ein eng

gefasster Technikbegriff das Artefaktische der Technik und reduziert diese auf die „technischen Gebilde“, die das „Insgesamt der Ingenieurprodukte, der Maschinen, Apparate, Geräte, Fahrzeuge, Bauwerke“ umfassen (Ropohl 2001, S. 16).

Als Mittelweg zwischen einem eng gefassten artefaktischen und weitgefassten handlungsbezogenen Technikbegriff schlägt ROPOHL eine Auffassung vor, die zwar das Artefaktische technischer Mittel berücksichtigt, dabei aber „die menschlichen Handlungszusammenhänge [...] bei Herstellung und Verwendung der Artefakte“ gleichsam betont (Ropohl 2001, S. 16). Während das Artefaktische als real-physische Materialisierung im einzelnen „Artefakt“ oder weiter gedacht als „Sachsystem“ (Ropohl 2016, S. 18), die „naturale Dimension der Technik“ konstituiert, so beschreiben die technischen Handlungszusammenhänge deren „humane“ und „soziale Dimension“ (Ropohl 2001, S. 17). Technisches Handeln ist ROPOHL zufolge daher grundsätzlich „soziotechnisches Handeln“ (Ropohl 2016, S. 19). *Technik* umfasst demnach:

- „die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme);
- die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen;
- die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden“ (Ropohl 2016, S. 18).

Insgesamt bilden also *materiell-artefaktische* und *handlungsbezogene* Dimensionen die beiden zentralen Perspektiven in ROPOHLS Definition des Technischen, die auch in der vorliegenden Studie als die wesentlichen Aspekte zur Konturierung des Technikbegriffs vorausgesetzt werden. Hinzu kommt bei ROPOHL jedoch noch eine Komponente, die im Begriff „Sachsystem“ ihren Ausdruck findet. Ein technisches Artefakt kann heute in der Regel nicht (mehr) als alleinstehendes, unabhängiges Objekt begriffen werden, sondern nur als Teil eines Systems, in dem menschliches Handeln und technische Infrastrukturen und Vollzüge zutiefst miteinander verwoben sind. Insbesondere die systemisch-infrastrukturelle Komponente des Technischen und ROPOHLS Deutung von Technik als Soziotechnik deuten auf die Unzulänglichkeit der Vorstellung von Technik als ‚bloßem‘ Mittel. Einem reduktionistischen Verständnis von Technik als ‚bloßem‘ Mittel zur Objektivierung mehr oder weniger eindeutiger Wirkungszusammenhänge wird im Folgenden daher ein Technikbegriff gegenübergestellt, der Technik als umfassende *strukturelle* Bedingung für menschliches Handeln und daran anknüpfend auch als Formung und *Bildung* fasst.

Technik als Infrastruktur und Bildung

Im Rückgriff auf Jacques ELLUL greift Gernot BÖHME als Fazit seiner Analyse des WEBER'schen Technikbegriffs den Begriff der „technischen Zivilisation“ auf (Böhme 2008, S. 14). Technik sei demzufolge kein „Gehäuse, in dem sich das menschliche Leben geschützt und doch unverändert vollziehen könnte, sie ist viel eher ein Skelett des Menschen, abstrakt gesprochen: eine Infrastruktur des Lebens geworden“, die durch die „tech-

nischen Determinanten erlaubt und ermöglicht“ wird (Böhme 2008, S. 17 f.). Eine solche gesellschaftliche Dimension der Technik kann „nicht mehr durch Kausalbezüge erfasst werden“, da Technik hier „strukturell, nicht kausal“ wirkt (ebd., S. 19). In diesem Kontext spricht BÖHME von einem zutiefst *invasiven Moment* der Technik, das einfache Mittel-Zweck-Beziehungen zwischen Technik und Mensch sowie Technik und Gesellschaft längst unterminiert (vgl. ebd., S. 13). Dabei vernachlässige die Auffassung der Technik als nützlicher Gebrauchsgegenstand, dass Technik gerade jene Zwecke und Ziele, für die sie ‚angewendet‘ wird, tiefgreifend beeinflussen und verändern kann: „Technik definiert durch ihr Eindringen in menschliche Verhaltensweisen und Verhältnisse, was diese jeweils sind“ (ebd., S. 35), gefragt werden muss daher, „was Technik als invasive Technisierung der menschlichen Lebensverhältnisse bedeutet“ (ebd., S. 13). „Die Technik“, so analysiert BÖHME weiter, „ist für unseren Lebenszusammenhang also nicht ein Mittel, zu dem wir zur Erreichung bestimmter Zwecke greifen oder es dafür überhaupt erst erfinden, vielmehr ist sie primär vorfindlich als eine Randbedingung dessen, was jeweils als menschliches Leben möglich ist“ (ebd., S. 35).

Für die hier interessierende Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digital-technischer Strukturen führt die Auffassung von Technik als ‚bloßes Mittel‘ zu einer unzureichenden Deutung der Position, von der aus ein reflexives Verhältnis zur Technik möglich wird. Ist Technik nur dem Menschen *äußerliches Werkzeug*, so ist es ihm möglich, sich dieser von der Position eines außenstehenden Beobachters zu nähern. Dass dieses – auch und gerade vor dem Hintergrund des digitalen Wandels – zunehmend schwerer möglich ist, haben zahlreiche Überlegungen gezeigt, die die Omnipräsenz und den gesellschaftlichen und kulturellen Durchdringungscharakter technischer und heute digital-technischer Infrastrukturen in den Mittelpunkt rücken. Unzureichend erscheinen einseitige Vorstellungen von Technik als Mittel daher u. a. im Hinblick auf gesellschafts- und kulturtheoretische Diagnosen, die gegenwärtige kulturelle und soziale Konstellationen mit Metavorstellungen wie *Technologisierung* und *Technik als Weltbildung* (vgl. Euler 1999) oder im Sinne einer *technologischen Bedingung* (vgl. Hörl 2011) umschreiben – Beschreibungen, die sich aus medienwissenschaftlicher Sicht auch in den immer auch technisch-technologisch konnotierten Vorstellungen von *Medialisierung* (vgl. Hepp 2020) sowie einer *Kultur der Digitalität* (vgl. Stalder 2017) wiederfinden. Gemeinsam ist diesen Ansätzen, dass sie gesellschaftliche Wandlungsprozesse als technisch-gesellschaftliche Symbiotisierungsbewegungen beschreiben, in denen eine „Vergesellschaftung der Technik“ mit der „Technisierung der Gesellschaft“ einhergeht (Ropohl 2016, S. 197). Für diese Deutung des Technischen liefern die klassischen aristotelischen Leitdifferenzen von Subjekt und Objekt, Form und Materie, Mittel und Zweck, aber auch einfache Technikbegriffe, die Technik als entlastendes „Mittel“ oder menschliche „Organentlastung“ und „Organersatz“ (Gehlen 1993, S. 93 f.) deuten, nur unzureichende Beschreibungsmöglichkeiten. Ungenügende Beschreibungskontexte liefern diese auch im Hinblick auf die *digitale* Technik, denn auch hier greift die Vorstellung digitaltechnischer Tools, Software und Medien als ‚bloße Mittel‘ menschlicher Zweckrealisierungen u. a. vor dem Hintergrund der Entwicklung automatisierter Verfahren, ‚selbstlernender‘ Algo-

rithmen und weitläufig vernetzter digitaler Infrastrukturen zu kurz. Benjamin JÖRISSEN und Dan VERSTÄNDIG zufolge reiche es in diesem Kontext nicht mehr aus, „Digitalität anhand ihrer gegenständlichen Sichtbarkeiten [...] zu betrachten“, sondern es müsse vielmehr die „Frage der Infrastrukturen und der Vernetzung technologischer, sozialer und materieller Akteure systematisch in den Blick genommen werden“ (Jörissen/Verständig 2017, S. 41), wie es mit Blick auf die digitale Technik in den Wissenschaften auch im Rahmen der vorliegenden Studie versucht wird (vgl. Abschnitt 5).

Auch Peter EULERS bildungstheoretisch perspektivierter Technikbegriff (vgl. Abschnitt 1.4) geht von einer *Problematisierung des Mittelbegriffs* aus, der häufig für eine unangemessen verkürzte Sichtweise der umwälzenden gesellschaftlich-kulturellen Bedeutung von Technik sorgte. Mit *Technik* beschäftigt sich Euler in *Technologie und Urteilskraft* (1999) daher nicht „aus ihrem technizistisch verengten Selbstverständnis“ bzw. ihrer „kulturtheoretischen Stigmatisierung als bloßem Mittel“ heraus (Euler 1999, S. 169). Ausgangspunkt seiner Analyse in *Technologie und Urteilskraft* (1999) ist die These, dass eine umfassende *Technologisierung* globaler Reichweite – und EULERS Begriff der Technologie wird noch zu klären sein – eine „prinzipielle Zäsur in der Bildungsgeschichte der Menschheit“ (Euler 1999, S. 19) markiert und dabei zur Hinfälligkeit bisher beanspruchter „Kriterien des Urteilens“ (ebd., S. 8) führt – Technik, so Euler, sei „faktisch bereits Weltbildung“ geworden (ebd., S. 14). Technik als Weltbildung beschreibt dabei einen Zustand, in dem Technik „Natur, Kultur und Gesellschaft durchdringt und prägt“, diese daher auch „nur entsprechend dem Grad [ihrer] technologischen Vermittlung zu begreifen“ sind (ebd., S. 119). Technik *als* Bildung ist für Euler, so interpretiert es Werner SESINK, in Technik *objektivierte Bildung* und damit „geronnene, vergegenständlichte Bildung“. Am Zustand der Technik lasse sich daher auch die jeweilige Bildungsverfassung ablesen, denn in ihr „begegnet Bildung [...] ihren eigenen Ergebnissen und Wirkungen, ihrer eigenen Objektivität“. Die Deutung von Technik *als* Bildung deute aber auch darauf hin, dass „Bildung immer auch die Gestaltung der Welt mit einschließt, in der wir leben; und dass diese Gestaltung als Bildung der Welt heute eben ausgeprägt technischen Charakter trägt“ (Sesink 2001, S. 247 f.).

Zur Auffassung von Technik als Weltbildung passen dagegen nicht länger tradierte kulturdualistische Denkfiguren, wie sie beispielsweise im Kontext der Debatte zu den ‚zwei Kulturen‘ zum Ausdruck kommen. So diagnostizierte C. P. SNOW (1961) in seiner Rede zu den ‚two cultures‘ nicht nur zwei unterschiedliche Wissenschaftstypen, sondern vielmehr die „Zerrissenheit“ der bildungskulturellen Verfassung seiner Zeit, in der eine geisteswissenschaftlich-literarische und eine naturwissenschaftlich-technische Kultur sich als einander unvermittelbar gegenüberstehende Perspektiven der Welterschließung verstanden (vgl. Euler 1999, S. 20). Ein solcher „Kulturdualismus“ (ebd., S. 26) markiert Euler zufolge nicht nur die klassische Unterscheidung der Natur- und Geisteswissenschaften, sondern auch eine übergreifende abendländische Tradition eines *Denkens in dichotomischen Leitdifferenzen*, die Kultur in den Begriffen *Zweck* und *Mittel* denkt und bis in die Gegenwart „theoretische Voraussetzungen menschlichen Selbst- und Weltverhältnisses“

(Euler 1999, S. 14 f.) prägt. Unterschieden werden dabei solche Kulturbereiche, die durch „Zweckkompetenzen“ und solche, die durch „Mittelkompetenzen“ bestimmt sind (ebd., S. 15). Diese im Wesentlichen im bildungsbürgerlichen Denken etablierte Aufteilung von Kulturbereichen in Zweck- und Mittelkompetenzen verhinderte lange – so EULERs These – die Akzeptanz jeweils aktueller technologischer Entwicklungen als *Bildungswert* (vgl. Abschnitt 1.2).

Dagegen findet der „*universelle Durchdringungscharakter*“ (Euler 1999, S. 170; H. i. O.) und damit *Technik als Weltbildung* bei EULER im Begriff der *Technologisierung* ihren treffendsten Ausdruck. Die Unterscheidung der Begriffe *Technik* und *Technologie* (vgl. ebd., S. 100–122) hält EULER deshalb für relevant, da sich „eine gesellschaftlich-kulturelle Problemlage ergeben hat“, die durch die Differenzierung der Begriffe zum Ausdruck gebracht werden kann (ebd., S. 100). Der Begriff *Technologie* deutet dabei für EULER auf die „neue, prinzipiell gewordene Rolle der Technik“ (ebd., S. 16), in der sich technische Entwicklung eben nicht mehr nur in der Steigerung technischer Leistungsfähigkeit erschöpft, sondern zum „Inbegriff einer neuen Stufe der Zivilisation, der Selbst- und Weltbildung“ wird (ebd., S. 16). U. a. in Auseinandersetzung mit dem Technik- und Technologiebegriff bei Günter ROPOHL (2009) geht EULER dabei von einer gesellschaftlichen Konstellation aus, für die die Bezeichnung mit dem „alten Begriff der Technik nicht länger denkbar“ ist (Euler 1999, S. 116). Technologie ist dabei „keine nachträglich verwendete Technik mehr, sondern eben geplante und umgesetzte gesellschaftliche Praxis“ (ebd., S. 217). Technik als Technologie, als Bildung oder auch ihr „Durchdringungscharakter“ können dabei als synonyme Beschreibungen für eine Technik gelten, die als welt- und gesellschaftsgestaltender *Formationsprozess* (vgl. ebd., S. 109) bzw. *Strukturprinzip* (vgl. Ropohl 2009, S. 32) fungiert. Dennoch wird – gerade auf der Ebene menschlichen Handelns – in dieser Studie weiterhin von „Technik“ (als Mittel bzw. als Medium) die Rede sein. Wenn ich mich dabei explizit auf Technik als weltgestaltenden Prozess und Strukturprinzip beziehe, werde ich in Rekurs auf EULER vom *Durchdringungscharakter* der Technik bzw. auch *Technik als Bildung* sprechen.

Im Fokus seiner Konturierung von Technik als Weltbildung steht für EULER die Frage, was Technik als gesellschaftliches Allgemeines für das Verhältnis des *Einzelnen* zu diesem *Allgemeinen* bedeutet (vgl. Euler 1999, S. 190). Insbesondere humanistisch idealisierte Vorstellungen vom Subjekt sind angesichts der als Allgemeines zu begreifenden Technik bzw. Technik als Technologie (s. o.) großen Verwerfungen ausgesetzt: EULER definiert Technologisierung als „soziale Praxis äußerer und innerer Naturbestimmung“ (Euler 1999, S. 186; H. i. O.), durch die der „Synthesecharakter [...] von Selbst und Welt“ zum Ausdruck kommt und damit die Tatsache, dass „unsere Umwelt nahezu nichts Nichtgemachtes mehr, positiv: nur noch Gemachtes enthält“ (ebd., S. 186 f.). So werde inzwischen „selbst das, was von Technologisierung unberührt blieb, unmittelbar oder mittelbar durch sie gedacht oder gefühlt“ und der Technik als Form der Weltgestaltung respektive Bildung „entgeht nahezu kein Gegenstand äußerer und innerer Natur mehr“ (ebd., S. 234).

Im Hinblick auf das Subjekt bedeute dies vor allem, dass einerseits „*Subjekteigenschaften* [...] in die Objektwelt ausgelagert“, andererseits „*Objektweltstrukturen* in die Sub-

jekte eingezogen“ (Euler 1999, S. 233; H. i. O.) werden. Technologisierung bringe dabei „das Subjekt‘ nicht prinzipiell zum Verschwinden, entziehe ihm jedoch Qualitäten, die diesem ‚klassischerweise‘ zugeschrieben werden, und lagere diese in die technische Objektwelt aus. Das Spektrum der dabei stattfindenden Auslagerung menschlicher Kompetenzen und die damit einhergehende Entlastung der Subjekte reicht dabei „von der menschenleeren Fabrik, über die Verlagerung der [...] Kopfrechenfähigkeit auf Taschenrechner bis zu kultur-industriellen Erlebniswelten“ (ebd., S. 195). Einen Widerhall erhält diese Verlagerung von Subjekteigenschaften in die Objektwelt zudem auch in Vorstellungen vom „*Intelligentwerden der Objektwelten*“ (ebd., S. 193; H. i. O.).

Der Durchdringungscharakter der Technik betrifft aber nicht nur die *äußere Natur* des Subjekts, also seine Umwelt, sondern auch dessen *innere Natur*, damit aber auch dessen Selbstbestimmungsmöglichkeiten. Subjekte *verinnerlichen* die technischen Objektweltstrukturen und dies führt u. a. zu dem, was EULER als „Entfaltung des *technologischen Charakters von Identität*“ bezeichnet (Euler 1999, S. 175; H. i. O.). Was also durch die Auslagerung von Subjekteigenschaften in die Objektwelt zur Entlastung des Menschen führt, kann aufgrund der Verinnerlichung technologischer Bedingungen in die innere Natur des Subjekts zugleich die „Verfügung über das Subjekt“ bedeuten (ebd., S. 233).⁶

Technik als Agency

Gegenüber EULERS Diagnose des Durchdringungscharakters von Technik, die sowohl Subjekt- als auch Objektwelten vereinnahmt, stellen heute techniksoziologisch perspektivierte Technikkonzeptionen eine Weiterentwicklung dar. In diesen stehen weniger die subjekt- und objektstrukturierenden Merkmale der Technik im Vordergrund als die *Wechselbeziehung* zwischen technischen und menschlichen ‚Handlungsvollzügen‘. Dabei fungieren technische Objekte jenseits ihrer Funktion als Mittel und rationale Handlungslogik verstärkt als *Agenten* in zwischen Mensch und Technik *verteilten* Handlungsvollzügen. Daran anknüpfende Technikbegriffe basieren in der Regel auf pragmatischen und relationalen Technikkonzeptionen (vgl. Rammert 2016, u. a. S. 66 und 147–158; Rammert/Schulz-Schaeffer 2002b). In diesem Kontext verweise ich im Folgenden kurSORisch auf die Position von Werner RAMMERT (2016) sowie RAMMERT und Ingo SCHULZ-SCHAEFFER (2002b).

An tradierten Technikvorstellungen kritisiert RAMMERT, dass diese dazu tendieren, entweder die Bedeutung des Subjekts oder aber des Objekts bzw. der Technik in der Mensch-

⁶ Das Durchdringen der inneren Natur des Subjekts durch technische Strukturen zeigt sich heute im Hinblick auf die digitale Technik beispielsweise in zahlreichen subjektiven Praktiken im Netz, die der Formalisierung unterworfen sind, man denke beispielsweise an Praktiken der *Selbstthematisierung* und Profilbildung in Sozialen Netzwerken sowie des biografischen ‚Storytelling‘, die im Wesentlichen über formalisierte Eingabemasken in den Sozialen Netzwerken erfolgen (vgl. Reichert 2008, S. 95–105). Dabei werden die technischen Formstrukturen digitaltechnischer Objekte insofern *verinnerlicht*, als dass menschliche Artikulationsmöglichkeiten zur Profil- und Identitätsbildung im Netz hier über die Vorgaben der Eingabemasken vorstrukturiert werden.

Technik-Relation zu überschätzen. So werde in der Idee, Subjekte könnten technische Objekte als bloße Instrumente nutzen, um ihre Außenwelt in ihrem Sinne zu gestalten, der „Anteil des Subjekts“ überschätzt. In der Beziehung von Subjekt und Technik sei zunächst nicht mehr „voraussetzungslos“ vom Subjekt zu sprechen, da der „Status der Subjektivität“ sich verändert habe: In einem zunehmend symbiotischen Verhältnis von Technik und menschlichem Handeln lösen sich etablierte Grenzen zwischen Subjekt und Objekt auf. Dagegen müsse in einer Technikvorstellung, welche die Bedeutung des Subjekts nicht zu überschätzen sucht, stets versucht werden, die Beziehung zwischen Mensch und Welt als *vermittelte* zu betrachten (Rammert 2016, S. 66).

Aber auch die Überschätzung der technischen *Objekte* im Subjekt-Technik-Verhältnis ist RAMMERT zufolge unangemessen, so beispielsweise das Überbetonen der Mächtigkeit technischer Objekte, die in Gestalt eines „technologischen Imperativs“ technikdeterministischen Vorstellungen Vorschub leisten kann. In solchen Vorstellungen werde einerseits die „Sachlichkeit“ der Technik überhöht, andererseits aber auch die Verkehrung der Mittel in Zwecke und damit der *Sachzwang* gefürchtet. Die Überschätzung technischer Objekte führe damit sowohl zur Forderung nach „Perfektion der Technik“ als auch zur Furcht vor „Entfremdung bzw. Vernichtung des Menschen durch Technik“ (Rammert 2016, S. 67).

Als Orientierungspunkt zwischen den beiden Extremen einer technikdeterministischen und einer subjektdeterministischen Einstellung gilt es für RAMMERT daher vielmehr, die „Andersheit“ der Technik zwar anzuerkennen, sie aber in „Vermittlungsbeziehungen zu übersetzen, die im Gegensatz zur objektivistischen Position unterschiedliche Grade des ‚Mithandelns‘ der Objekte kennen“ (Rammert 2016, S. 67). Technik könne RAMMERT zufolge zwar auch weiterhin nicht als „intelligent“ oder „reflexiv“ im menschlichen Sinne gelten, es könne aber davon ausgegangen werden, dass „Intelligenz nicht im Einzelnen, sondern in der Interaktion, also in Kollektiven oder gar Gesellschaften ihren Ort hat“ und daher gefragt werden müsse, „ob nicht auch aus der Interaktivität mit Objekten oder Programmen eine Art von sozio-technischer Intelligenz erwächst“. Diese stellt keine „individuelle, auf den einzelnen Menschen konzentrierte“ Form der Intelligenz dar, sondern eine „Art verteilter Intelligenz“, die sich „in der Interaktivität mit den in Programmen verkörperten intentionalen Strukturen und unter wechselseitiger Bezugnahme der menschlichen und nicht-menschlichen Elemente im sozio-technischen System“ konstituiert und dabei insbesondere den „interaktiven und kollektiven Charakter von Intelligenz“ betont (ebd., S. 128). Wenn dabei technischen Objekten auch nicht ohne Weiteres „Handlungsmacht“ (ebd., S. 124) zugeschrieben werden kann, so ist doch im Umkehrschluss nicht davon auszugehen, der Mensch besäße zwangsläufig und uneingeschränkte Deutungshoheit in den heute hochgradig komplexen Interaktionen zwischen menschlichen und technischen Systemen, die inzwischen vielfach die Infrastruktur (im Sinne eines oftmals nicht sichtbaren ‚Unterbau‘) für menschliches Handeln darstellen.

RAMMERT und SCHULZ-SCHAEFFER haben in ihrem Konzept *verteilten Handelns* ein relationales Technikkonzept entwickelt, das „menschliche und nicht-menschliche Elemente“ von Handlungsträgerschaft (*agency*) in „soziotechnischen Konstellationen“ (Rammert/

Schulz-Schaeffer 2002b, S. 22) bzw. „gemischten (hybriden) Konstellationen“ (vgl. ebd., S. 59) verortet. Die beiden Autoren gehen dabei von unterschiedlichen Abstufungsmöglichkeiten der Verteilung von Handlungsträgerschaft bzw. *agency* zwischen menschlichen Akteuren und technischen Agenten aus (vgl. ebd., S. 59). Dabei sei vor allem zu klären, in welchen Abstufungen Menschen in diese Handlungen eingreifen müssen oder können: „Es ist eben nicht so, wie man gemeinhin glaubt, dass, wenn wir vom Handeln der Maschinen sprechen, wir unsere Freiheit aufgeben und die Autonomie der Maschinen verkünden. Ganz im Gegenteil: erst wenn wir die Frage der agency von Technik in unsere Überlegungen mit einbeziehen, ist unser Blick für die richtige Balance bei der Verteilung von Aktivitäten auf menschliche und andere Instanzen geschärft“ (Rammert/Schulz-Schaeffer 2002b, S. 60).⁷

Hinsichtlich der Verteilungsverhältnisse von Handlungsträgerschaft zwischen Mensch und Technik unterscheiden RAMMERT (2016) bzw. RAMMERT und SCHULZ-SCHAEFFER (2002b, S. 43–50)⁸ schwache und starke Ausprägungen von *Handlung* und damit „voraussetzungssärmere“ und „voraussetzungsreichere“ Handlungskonzepte (Rammert 2016, S. 152). Im Kontext eines weniger voraussetzungsreichen, schwächeren Handlungsbegriffs markiert Handeln das Bewirken von Veränderungen und kann als „bewirkendes Verhalten“ gedeutet werden. Vor dem Hintergrund eines solchen Handlungsbegriffs erscheinen Unterschiede zwischen Mensch und Technik weniger gravierend (ebd., S. 153), denn in diesem Fall erfüllen sowohl menschliche Handelnde als auch technische Systeme Aufgaben gemäß vorgegebener Routinen und Programme. Demzufolge macht es im Ergebnis für Menschen beispielsweise nur wenig Unterschied, ob diese Geld von einem Bankmitarbeiter oder einem Bankautomaten ausgehändigt bekommen (vgl. ebd., S. 153).

Interessanter ist RAMMERT zufolge jedoch ein weiterführender, stärkerer Handlungsbegriff, der auch ein „Auch-anders-handeln-Können“ einschließt, und damit die Fähigkeit eines technischen Agenten, auf „neuartige Gegebenheiten seiner Umwelt einzugehen“, in dem also auch kontingente Aspekte des Handelns eine Rolle spielen (Rammert 2016, S. 153). In dem Maße, in dem technische Objekte nämlich weniger nach „dem Muster von Anweisung und Ausführung“ agieren und entsprechend auch anders handeln können, werde „Interaktivität als Modus der Koordination zwischen Mensch und Maschine wie auch zwischen den Artefakten“ erforderlich (ebd., S. 153 f.). Als Beispiel nennt RAMMERT ‚intelligente‘ Automaten, die sich über Dialogschnittstellen auf Wünsche der Nutzenden einstellen können oder interaktive Computerspiele, in denen, je nach gewünschten

⁷ Im Konzept der verteilten Handlungsträgerschaft bleibt jedoch die Grundfrage bestehen, ob *Handlung* technischen Objekten und Systemen lediglich zugeschrieben wird oder diese sich tatsächlich empirisch beobachten lässt, und falls ja, für welche Handlungsaktivitäten oder Techniken dies gilt. Dabei sei es RAMMERT und SCHULZ-SCHAEFFER zufolge zu einfach, sich auf die „etablierte Theorietradition der Soziologie zurückzuziehen, die den Begriff des Handelns für das intentional-bewusstseinsfähige menschliche Subjekt reserviert“ (Rammert/Schulz-Schaeffer 2002b, S. 26).

⁸ Die Referenzierungen der folgenden Analyse finden sich so auch im Aufsatz von RAMMERT und SCHULZ-SCHAEFFER (2002b). Ich zitiere im Folgenden aber weitgehend aus RAMMERT (2016).

Handlungsvollzügen der Spielenden, Handlungen der anderen Spielfiguren und Szenarien vom technischen System angepasst werden (vgl. ebd., S. 154).

Ein noch stärkerer Handlungsbegriff wäre hingegen mit der Zuschreibung von „Intentionalität und Reflexivität des Handelns“ verbunden, die bisher allein in die Ägide des bewusstseinsfähigen Menschen fallen (Rammert 2016, S. 154). Wird allerdings eine „stärker operative Auffassung von Intention und Reflexivität“ zugrunde gelegt, so ließen sich gerade „avancierte“ Techniken in einer Weise interpretieren, „als ob sie eine intentionale Struktur besäßen, die alle ihre Operationen in eine bestimmte Richtung treibt, und als ob sie ein Metaprogramm aufrufen könnten, das in Rekurs auf die Reaktionen anderer Agenten die Rahmen für die eigenen Programme verändert“ (ebd., S. 155). RAMMERT nennt hier sogenannte *BDI-Agenten*⁹ als Beispiel. Agent ist insbesondere im Kontext der Künstliche-Intelligenz-Forschung ein gebräuchlicher Begriff für eine Softwareeinheit, die „über bestimmte, von ihr selbst gesteuerte Aktionsprogramme verfügt und in der Lage ist, ihre eigenen Aktionen unter Berücksichtigung des Verhaltens ihrer Umwelt und gegebenenfalls in Abstimmung mit ihrer Umwelt [...] selbstständig auszuwählen“. BDI steht dabei für „belief, desire, intention“ und ist deswegen bezeichnend, da es technischen Agenten ein „intentionale[s] Vokabular“ zuschreibt, das in diesem Fall allerdings nicht nur mehr „eine nützliche nachträgliche Deutung maschineller Abläufe“ konnotiert, sondern die „Semantik“ jener Algorithmen festlegt, die die „Funktionsweise der Technik bestimmen“. Ein solcher technischer Agent agiert mitunter auf der Basis von „Wissensbeständen, die für ihn unterschiedliche Bedeutung haben, je nachdem ob sie ihm [...] als Überzeugungen, Ziele oder Verpflichtungen gelten“. An solchen für sie ‚bedeutsamen‘ Gehalten orientieren technische Agenten dann auch ihre „Interaktion mit der Umwelt“ (ebd., S. 145 f.). Diese Art technischer Agenten können also ihr Verhalten auf Basis einer „intentionalen Semantik steuern“ und diese auch für Interaktionen mit ihrer Umwelt einsetzen, dabei können sie auch „andere Agenten oder auch menschliche Akteure über ihre Absichten und Überzeugungen informieren“ bzw. „deren Absichten und Überzeugungen verstehen“, d.h. als unter Umständen verhaltensändernde Information in die Kalkulation des eigenen Verhaltens einbeziehen“ (ebd., S. 146). Daraus resultieren Konstellationen zwischen Mensch und Technik, in denen Interaktionszusammenhänge entstehen können, innerhalb derer sowohl menschliche Akteure als auch technische Agenten „gemeinsam ein hinreichend ähnliches intentionales Vokabular benutzen, um ihre jeweiligen internen Zustände nach außen zu kommunizieren und auf dieser Grundlage ihr Verhalten zu koordinieren“ (ebd., S. 146). Hier entwickeln sich also Techniken, denen „intentionales Handeln als Fähigkeit nicht lediglich aufgrund äußerer Verhaltensbeobachtung zugeschrieben wird, sondern die diese Fähigkeit tatsächlich besitzen, jedenfalls in dem Sinne, dass sie ihr eigenes Verhalten mittels einer intentionalen Semantik steuern und kommunizieren und auf dieser Grundlage mit anderen Handlungssubjekten sozial interagieren“ (ebd., S. 146).

Demnach lässt sich Handeln mit RAMMERT bzw. mit RAMMERT und SCHULZ-SCHAEFFER in drei Abstufungen differenzieren: Auf der untersten Stufe bedeutet Handeln das „Bewir-

⁹ BDI-Agenten kommen beispielsweise in der Robotik zum Einsatz (vgl. Bock/Mayer 2020).

ken von Veränderungen (Kausalität)“, auf der mittleren kommt die Dimension des „Auch-anders-handeln-Könnens (Kontingenz)“ hinzu und auf der obersten Handlungsebene die „Verwendung eines intentionalen Vokabulars bei der Steuerung und/oder Deutung des fraglichen Verhaltens (Intentionalität)“ (Rammert 2016, S. 156; Rammert/Schulz-Schaeffer 2002b, S. 48). Dabei ergibt es sich aus der „Typik des jeweiligen Handlungszusammenhangs“, auf welcher Ebene des Handlungsbegriffs bei der „Untersuchung [...] verteilten Handelns sinnvollerweise zu rekurrieren ist“. Dort, wo auch menschliches Verhalten vor allem hinsichtlich seiner „verändernden Wirksamkeit als Handeln“ im Fokus steht, müsse auch für die „Beurteilung der Akteursqualitäten von Technik kein höherer Maßstab angelegt werden“. Ähnliches gilt für die anderen Ebenen des Handlungsbegriffs. RAMMERT betont damit ein Konzept von Handlungsträgerschaft, „für die es keinen grundsätzlichen Unterschied macht, ob agency über menschliche Handlungen, physikalische Bewegungen oder zeichenhafte Operationen als mediale Träger verwirklicht wird“ (Rammert 2016, S. 156 f.). Mit einem solchen gradualisierten Handlungsbegriff sei ein Werkzeug verfügbar, mit dem Techniken nach dem „Grad ihres (Mit-)Handelns innerhalb sozio-technischer Zusammenhänge“ unterscheidbar werden (ebd., S. 157).

Zusammenfassend argumentiert die Theorie des verteilten und gradualisierten Handelns aus pragmatischer Sicht dafür, den „Status des Agenten“ nicht länger allein dem Menschen vorzubehalten (Rammert 2016, S. 67). Hinsichtlich des Vermögens, die Aktionen technischer Agenten reflektieren zu können, steht der Mensch zwar weiterhin in der Pflicht, denn Menschen bleiben „bislang die einzigen Agenten, die in der Beziehung Distanz aufbringen, diskursiv damit umgehen und darüber reflektieren und auf höherem Niveau aus den Erfahrungen lernen können“ (ebd., S. 67). Allerdings zeigt sich in den heutigen avancierteren Techniken, dass die Integration intentionalen und reflexiven Vokabulars häufig nicht nur Ausdruck einer nachträglichen Deutung technischer Vollzüge ist, sondern dass Techniken bereits in der Lage sind, ihre eigenen Vollzüge mithilfe solcher semantischer Konzepte zu steuern, die häufig auch zur Beschreibung menschlicher intentionaler Handlungsfähigkeit verwendet werden. Angesichts neuerer Entwicklungen sogenannter Künstlicher-Intelligenz-Techniken bzw. Techniken des maschinellen Lernens scheint die Annahme einer *reflexiven Vorrangstellung* des Menschen dabei zunehmend an Überzeugungskraft zu verlieren, wie im Kontext der Erörterung digitaler Technik als „reflexiver Maschine“ noch zu diskutieren sein wird (vgl. Abschnitt 3.3).

Der Kontext der Handlungsfähigkeit ist dabei auch von bildungstheoretischer Bedeutung: Was bedeuten jene zunehmend nach menschlichen intentionalen und reflexiven Semantiken sich selbst steuernden technischen Objekte und Systeme für klassische Auffassungen von der Autonomie des Subjekts, dessen Mündigkeit und Freiheit, aber auch für die bildungstheoretisch sowie auch medienpädagogisch formulierte Zielvorstellung menschlicher Handlungsfähigkeit (vgl. Knaus/Merz/Junge 2023, S. 4 und 9; Knaus 2020, S. 38–42)? Diese Frage wird in der bildungsorientierten Auseinandersetzung im abschließenden Teil der Studie u. a. im Kontext der Auseinandersetzung mit Heinz-Joachim HEYDORNS Analyse eines Widerspruchs von Bildung und Herrschaft noch einmal aufgeworfen (vgl. Abschnitt 6.1).

Im Zusammenhang der für diese Studie im Fokus stehenden Frage nach Orientierungsmöglichkeiten des Menschen innerhalb digitaltechnischer Strukturen argumentiert RAMMERT aus der Perspektive der Techniksoziologie in ähnlicher Weise wie EULER aus bildungstheoretischem Blickwinkel, dass Menschen sich der Technik aufgrund der Verwobenheit menschlichen Handelns mit technischen Vollzügen reflexiv nicht länger „von außen gleichsam aus der Satellitenperspektive“ (Rammert 2016, S. 67) nähern können. RAMMERT schlägt diesbezüglich eine „Steuermannsperspektive“ vor, die es ermöglicht, „inmitten des Getümmels der vielfältigen Beziehungen“ (ebd., S. 67 f.) ein reflexives Verhältnis zur Technik zu entwickeln. Doch auch die Steuermannsperspektive scheint angesichts neuerer Entwicklungen im Kontext der digitalen Technik, wie noch zu zeigen ist, zu optimistisch. Hier – so wird in der bildungstheoretischen Reflexion im finalen Teil der Studie argumentiert – sind Strategien erforderlich, die Reflexion im Kontext eines teils unauflösbaren technischen Nicht-Wissens ermöglichen (vgl. Abschnitt 6.3).

Mit der Darstellung von Technik als Mittel, Infrastruktur, Bildung und Agency wurden unterschiedliche Konzepte aufgezeigt, die Technik als objektivierten Wirkungszusammenhang und Mittel innerhalb rationaler Zweck-Mittel-Vollzüge bzw. Ursache-Wirkungs-Vollzüge kennzeichnet. Zugleich wurden aber auch die systemischen, infrastrukturellen Dimensionen der Technik sowie ihre Bedeutung als gesellschaftliches Formations- bzw. Strukturprinzip aufgezeigt und Technik abschließend als ein mit dem Menschen zutiefst verwobener Bestandteil von Handlungsvollzügen hervorgehoben.

Daraus lassen sich einige Spannungsfelder des Technischen konstruieren, die auf den ambivalenten Charakter von Technik deuten: Zunächst ist hierbei die Idee der Technik als *Sache* von Interesse (Ropohl 2016, S. 18), weil sie darauf hindeutet, dass sich Technik und technisches Handeln ohne Rückbezug auf Formen der Veräußerlichung und Objektivierung von Wissen, Erfahrung und Handlungabläufe im technischen Objekt, Sachsystem oder in einem technischen Verfahren nicht ausreichend beschreiben lässt, wie im nachfolgenden Abschnitt 2.2 thematisiert wird. Genauso deutlich wird aber auch, dass Technik in der Sache bzw. ihrer Objektstruktur nicht aufgeht. Deutlich wird in jüngeren techniksoziologischen und technikphilosophischen Überlegungen zum Technikbegriff vielmehr die Wechselbeziehung zwischen Technik als Objektivierung von Routinen in Objekten, Geräten, Systemen oder Verfahren auf der einen Seite und dem *Umgang* des Menschen mit diesen Objektivierungen auf der anderen Seite. Technik ist – anders als ihr Ruf, nämlich Eindeutigkeit, Regelhaftigkeit und routinierte Ursache-Wirkungs-Relationen zu ermöglichen – eben kein ‚bloßes‘ Mittel, sondern stets ‚mehr‘. Dieses *Mehr* resultiert aus dem Handeln mit technischen Objekten in ihren Entstehungs- und Nutzungskontexten, in denen Menschen sich Techniken *aneignen* und diese dabei auch *verändern* können. Daran anknüpfend wird der Technikbegriff im Folgenden vor dem Hintergrund der Dekontextualisierung und Rekontextualisierung von Wissen und Erfahrung konturiert – Vorgänge, die den ambivalenten Charakter des Technischen wesentlich markieren.

2.2 Technik als Dekontextualisierung und Bestimmtheit

2.2.1 Technisierung als Fixierung, Formalisierung und Ablösbarkeit

Der Soziologe Anthony GIDDENS (1995) beschreibt in seiner Schrift *Konsequenzen der Moderne* den Prozess der Dekontextualisierung von Wissen, den er als „Entbettung“ bezeichnet, als Grundlage für Wissenspraktiken moderner Gesellschaften. Entbettung meint dabei das „„Herausheben“ sozialer Beziehungen aus ortsgebundenen Interaktionszusammenhängen und ihre unbegrenzte Raum-Zeit-Spannen übergreifende Umstrukturierung“ (ebd., S. 33). Zentral für die moderne Gesellschaft sind dabei vor allem zwei Typen der Entbettung: zum einen die Entbettung von Wissen durch symbolische Zeichen, die als „Medien des Austauschs“ fungieren, „die sich „umherreichen“ lassen, ohne daß (sic!) die spezifischen Merkmale der Individuen oder Gruppen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt mit dem Medium umgehen, berücksichtigt werden müssen“ (ebd., S. 34), dazu gehört beispielsweise das Geld. Eine zweite Form der Entbettung zeigt sich in der Genese von Expertensystemen, in denen Kausalbeziehungen und Ursache-Wirkungs-Relationen objektiviert und aus ihren unmittelbaren, lokalen (zeitlichen und räumlichen) Kontexten gelöst werden können.

Inwiefern handelt es sich bei der Genese von Technik um einen Prozess der Entbettung bzw. der Dekontextualisierung von Wissen? Gernot BÖHME zufolge sollte der Technikbegriff trotz seiner Weite und Übertragbarkeit in alle möglichen Handlungszusammenhänge menschlicher Existenz (vgl. Abschnitt 2.1) nicht als zu „idealisch“ aufgefasst werden, sondern müsse stets in seinen materiellen Dimensionen gewürdigt werden. *Materiell* bezieht BÖHME dabei jedoch weniger auf die technische „Hardware“ als vielmehr auf die „Fixierung“, durch die Technik von dem einzelnen Menschen unabhängig wird, der sich das technische „Arrangement“ ursprünglich „als Kompetenz angeeignet haben mag“ (Böhme 2008, S. 36). Das in Techniken eingeflossene Wissen wird damit aus ihren individuellen, situativen Konstruktionszusammenhängen herauslösbar, während die in ihr fixierten Ursache-Wirkungs-Relationen auch von denen nutzbar bleiben, die sie gar nicht konstruiert haben. Als „strikte Kopplungen“ lassen technischen Fixierungen dabei „Abläufe so erfolgreich und so stabil gerinnen“, dass Menschen ihrer nur in Form ihrer „eigenen Abkürzungen“ gewahr werden: „Als der Griff zum Schalter, mit dem das Licht angeht – oder, uns etwas näher liegend, als der Druck auf den Knopf, mit dem in einer Fülle von blitzartigen und unermesslich filigranen, automatisierten Operationsfolgen etwa unser Notebook „bootet““ (Gehring 2007, S. 356).

Auch Werner RAMMERT bezeichnet den Prozess, in dem „Formen fixiert werden, die erwünschte Effekte erwartbar und berechenbar machen“ (Rammert 2016, S. 123) als *Technisierung* (vgl. auch Abschnitt 2.1). Fixierung bezieht sich dabei aus RAMMERTS pragmatischem Blickwinkel nicht ausschließlich auf die sachtechnische Dimension und damit eine physisch-materielle Fixierung, sondern auch auf fixierte Handlungszusammenhänge. Unter *Technisierung* – den Begriff entlehnt RAMMERT von HUSSERL, BLUMENBERG und LUHMANN – versteht der Autor dabei zweierlei: Zum einen bedeutet Technisierung eine

„besondere Form der praktischen Herstellung Sinn entlasteter und Wirkung erzielender Schemata“, demgegenüber schließt Technisierung aber auch jene Trägermedien ein, in denen „Technisierungsformen verkörpert (Organe, Bewegungen), versachlicht (physische Artefakte) oder eingeschrieben (Zeichensysteme)“ werden (Rammert 2016, S. XII). Im Vordergrund steht dabei ein *Ablöseprozess* sowie ein Prozess der *Veräußerlichung*, der sich durch Schematisierung, Fixierung und Verdinglichung eines Wissens über komplexe Ursache-Wirkungs-Beziehungen vollzieht. Konkret vollzieht sich dieser im „Trennen, Reinigen und Schematisieren von Elementen und ihren Kombinationen“, in der „Fixierung und Festigung der Verbindungen durch das Wiederholen in der Zeit“, durch deren „Einschreiben in mediale Träger“ und schließlich durch die „Schließung des Systems durch Einkapselung der kontrollierten Beziehungen und Abkapselung von störenden Umwelteinflüssen“ (ebd., S. 66). Technik benötigt also eine „Objektivierung der Form“, für die RAMMERT drei potentielle *Trägermedien* identifiziert – den menschlichen Körper, physische Dinge und symbolische Zeichen (vgl. ebd., S. 78).

Marshall McLUHAN bezeichnet Technik auch als „Methoden [...], um eine Art von Wissen in einen anderen Modus zu übertragen“ und damit als „Ausdrücklichkeit“ (McLuhan 1992, S. 72). Für Reinhard MARGREITER, der vom menschlichen Körper als *Ur-Medium* ausgeht, sorgen Wahrnehmung und Erfahrung vermittelt durch die menschlichen Sinnesorgane für eine „erste und grundlegende Vermittlung zwischen Subjekt und Objekt, Ich und Welt, Mensch und umgebende Wirklichkeit“. Davon ausgehend manifestieren sich jedoch „sämtliche menschliche Techniken, mit denen die Sinnesleistungen verlängert, verstärkt und [...] ersetzt werden können“ als *Medien*, in denen solche Sinnesleistungen eine „technische[...] ,Auslagerung“ bzw. „Objektivierung“ erfahren (Margreiter 2001, S. 207) und in denen diese in letzter Konsequenz von der Verbindung zum menschlichen Körper ablösbar werden. In seiner Deutung als objektivierte bzw. in Trägerobjekten *veräußerlichte* Formen eines Wissens über Ursache-Wirkungs-Relationen rückt der Technikbegriff auch an den Medienbegriff bzw. die Idee von Technik als *Medium* ebensolcher Wirkungszusammenhänge heran, wie in Abschnitt 2.3.2 noch ausführlicher diskutiert wird.¹⁰ Die Vorstellung vom Werkzeug als Verstärkung und „Organersatz“ (Gehlen 1993, S. 93 f.) zeugt jedoch zugleich von der Geburtsstätte der Technik „aus dem menschlichen Körper“ (Erlach 2012), welche Technik auch als menschlichen Umstand (*conditio humana*) markiert (vgl. auch Stiegler 1998). Werner SESINK weist in diesem Zusammenhang auf die Entwicklungsgeschichte des Werkzeugs: Während Werkzeuge auf einer frühen Entwicklungsstufe noch menschliche Organe emulieren, übernehmen diese auf einer späteren Stufe bereits Organfunktionen, *ohne* dass Erscheinungsformen der Natur oder menschliche Organe dafür Modell gestanden hätten, so beispielsweise das Rad, das Funktionen der Beine übernimmt, gestalterisch in der Natur jedoch kein

¹⁰ Wenn MARGREITER an dieser Stelle auch zu bedenken gibt, dass es zur Vermeidung einer „Entgrenzung des Medienbegriffs“ sinnvoll sei, diese technische Deutung des Mediums auf die Informations- und Kommunikationstechniken wie Sprache, Schrift, Buchdruck oder die Neuen Medien einzuschränken (Margreiter 2001, S. 207).

Vorbild findet. Leitmotiv dieses Ablöseprozesses technischer Objekte bzw. Werkzeuge vom menschlichen Körper ist SESINK zufolge die „Perfektionierung einer Zweck-Mittel-Rationalität“ (Sesink 1993, S. 101). Er meint damit einen Abstraktions- und Reduktionsprozess, bei dem im Prozess der Vergegenständlichung im Kontext der Genese des Werkzeugs, „nur bestimmte Bedürfnisse und Fähigkeiten der Menschen“ (ebd., S. 102) Eingang finden. Abstraktion sorgt also dafür, dass nur *bestimmte* Funktionen im Hinblick auf *bestimmte* Bedürfnisse im Werkzeug fixiert werden. Reduziert werde dabei der „Reichtum menschlicher Ausdrucksmöglichkeiten auf das, was sich in der Zweckrationalität von Werkzeugen vergegenständlichen“ lässt (ebd., S. 102). Werkzeuggeschichte ist also zunächst eine Geschichte der *Bestimmung*, *Objektivierung* und *Vergegenständlichung* menschlicher Zweckbezüge.

Auch die *Schrift* kann in diesem Sinne als Technik begriffen werden. Dem Medientheoretiker Walter ONG zufolge haben wir – anders als beispielsweise bei der Computertechnik – das Schreiben inzwischen so weit verinnerlicht, dass wir verlernt haben, *Schrift* überhaupt als Technik zu begreifen¹¹ (vgl. Ong 2016, S. 76). In der Schrift begann jedoch bereits, was sich heute in der Computertechnik fortsetzt und zugleich das hier angenommene Verständnis von Technik schärft, nämlich die „die Abtrennung des Wortes vom Lebenszusammenhang“ des gesprochenen Wortes und damit vom einzelnen Menschen als dem Wissenden. Aus der Perspektive des Menschen veräußerlicht und vergegenständlicht Schrift demnach das gesprochene Wort (ebd., S. 76) – und befördert damit womöglich ein „Vergessen“ des ursprünglichen Kontextes, in dem es gesprochen wurde? Der Topos menschlichen „Vergessens“ als Folge technischer Dekontextualisierung lässt sich seit seinen Anfängen im griechischen Denken verfolgen. Dazu gehört die PLATONISCHE Mahnung vor dem Verlust des Gedächtnisses durch die Schrift (vgl. Paulsen/Rehn 2019, S. 71) genauso wie in jüngerer Zeit Edmund HUSSERLs in den 1930er Jahren gestellte Diagnose einer Ursprungsvergessenheit der Naturwissenschaft. Diese habe sich zur „bloßen Kunst“ entwickelt, weil sie mit mathematischen Formeln und Regeln zu operieren vermag, ohne dabei deren „*ursprüngliche Sinngebung*“ erinnern zu müssen (Husserl 2012, S. 60 f.; H. i. O.). Für HUSSERL und daran anknüpfend Hans BLUMENBERG, der in ebendiesem Abstraktionsprozess eine zunehmende Ablösung der Technik von der Lebenswelt sah, erfolgte diese durch die im technischen Abstraktionsprozess vollzogene „*Abdeckung* der Genesis“, also des Entstehungskontextes jener technischen Objektwelten, deren „*ursprüngliche Sinngebung*“ durch Abstraktion verloren geht und die dadurch in einen Zustand der „Fraglosigkeit“ versetzt werden (Blumenberg 2020, S. 33 f.; H. i. O.; Husserl 2012, S. 50).

¹¹ In der deutschen Übersetzung des Textes von ONG, die von Andreas HEPP herausgegeben wurde, wird hier das englische „Technology“ mit „Technologie“ übersetzt. Da im Englischen nicht in dem Maße zwischen Technik und Technologie unterschieden wird, diese Unterscheidung für die vorliegende Arbeit jedoch von Bedeutung ist, habe ich mir erlaubt, an mehreren Stellen in dieser Studie das englische *technology* mit *Technik* zu übersetzen.

Eine spezifische Spielart, in der sich die Dekontextualisierung von Wissen in der Technik in besonderer Weise manifestiert, kann in der Geschichte des *formalen Denkens* nachvollzogen werden, die hier nur exkursorisch aufgegriffen werden kann (weiterführend vgl. Krämer 1988). Die Geschichte des formalen Denkens erweist sich nicht nur im Hinblick auf ihre Bedeutung für die Entwicklung der Computertechnik als zentrale Ideengeschichte der technischen Veräußerlichung und Dekontextualisierung menschlicher Wissens-, Erfahrungs- und Handlungszusammenhänge. In der Geschichte des formalen Denkens wurden Vorstellungen davon entwickelt, wie es gelingen kann, solche Zusammenhänge zu *kalkülisieren*, und das bedeutet, diese auf ein „regelgeleitetes Operieren mit Zeichen zurückzuführen“ (ebd., S. 59).

Ein zentraler Vordenker formalen Denkens war Gottfried Wilhelm LEIBNIZ.¹² LEIBNIZ' Vorstellung, Denken vollziehe sich im „Medium von Zeichen“ und Zeichenoperationen seien formalisierbar, kann dabei als Grundlage der Idee *universaler Denkmaschinen* gelten, wie sie sowohl in Raimundus LULLUS' logischer Maschine als auch im LEIBNIZ'schen Projekt der universalen Denkmaschine vorgedacht wurden (Krämer 1988, S. 138 f.). Zwar zerschlugen die mathematischen Grundlagendiskussionen des 20. Jahrhunderts die Möglichkeit der tatsächlichen Realisierbarkeit solcher universalen Denkmaschinen (vgl. ebd., S. 139–159; vgl. auch Abschnitt 3.3). Der in der Geschichte des formalen Denkens jedoch immer wieder zum Ausdruck gebrachte Wille, solche zu denken und sogar zu konstruieren, beförderte schließlich auch die Entwicklung des Computers, weshalb KRÄMER ihre Abhandlung zur Geschichte des formalen Denkens auch als „Vorgeschichte der Computerisierung“ deutet (ebd., S. 3).

Die Geschichte des formalen Denkens als Vorgeschichte der Entwicklung der Computertechnik ist aber neben der Idee des Denkens im Medium von Zeichen auch von einer weiteren zentralen Vorstellung geprägt – der der *Operationalisierung* des Zeichengebrauchs. Zeichen als Medien dienen nämlich „nicht nur der Kommunikation der Ergebnisse des Denkens“, sondern bilden das „Medium, in welchem Denken überhaupt sich vollzieht“, nämlich als „schrittweise Bildung und Umbildung von Zeichen“. Damit verknüpft ist auch die methodische Vorstellung, dass das „Operieren mit Zeichen [...] als Operieren innerhalb einer formalen Sprache ausführbar“ ist. Zentrale Idee dabei ist, dass im Zuge der Zeichenmanipulation „die Bedeutung der Zeichen vergessen werden“ kann. Voraussetzung ist allerdings, dass das Verhältnis der Zeichen zueinander in vorgängigen Operationsregeln expliziert wird, mit der Konsequenz, dass bei der Manipulation der Zeichen „ausschließlich Bezug auf die syntaktische Gestalt der Zeichen“ (Krämer 1988,

¹² In seiner Doktorarbeit *De Arte Combinatoria* vertritt LEIBNIZ die Auffassung, dass alles menschliche Denken sich in Form von Zeichen vollziehe, menschliches Denken daher als Abfolge von Zeichenkombinationen gedeutet werden kann (vgl. Hui 2019, S. 118). Dabei lag LEIBNIZ' bedeutsamer Beitrag u. a. darin, *Unendliches* denkbar zu machen: Unendliches wird dann denkbar, wenn es gelingt, dieses in endlichen Symbolen zu artikulieren und damit bestimmbar zu machen. So kann nach LEIBNIZ beispielsweise die irrationale Zahl Pi mittels einer Reihe finiter Symbole repräsentiert werden. Die Überführung des Unendlichen in endliche, begrenzte Zeichen hat zwei Konsequenzen: Zum einen wird Unendliches reflektierbar, zum anderen aber auch berechenbar (vgl. ebd., S. 118).

S. 138) genommen werden kann. KRÄMER bestimmt das syntaktische Operierenkönnen mit „sinnentleerten“ Zeichen als Kern der Formalisierung und damit auch als Möglichkeitsbedingung für die Entwicklung von Rechenmaschinen. Im Zentrum der Geschichte des formalen Denkens stand demzufolge die „Idee des operativen Symbolgebrauches“, das heißt also die Vorstellung der Möglichkeit eines *schematischen* und zugleich *interpretationsfreien* Umgangs mit Symbolen, die auf der Idee der Trennung der „Manipulation von Symbolreihen von ihrer Interpretation“ basiert (Krämer 1988, S. 176). Operationalisierung meint KRÄMER zufolge, dass das „Verhältnis zwischen einer Tätigkeit und ihrem Schema so beschaffen ist, daß (sic!) das Schema vorab gegeben, es also in der Tätigkeit nur noch umzusetzen“ ist (Krämer 1993, S. 72). Voraussetzung für Operationalisierbarkeit ist jedoch die formale Beschreibung und damit Explizierung von Handlungsschemata bzw. Vollzügen. Wo jedoch ein Vorgang auch im Hinblick auf seine Ausführbarkeit „formal beschreibbar ist“, so folgert KRÄMER, „da kann dieser [...] im Prinzip auch von einer Maschine exekutiert werden“ (ebd., S. 73). Durch Formalisierung als Prozess der Trennung von Zeichenmanipulation und Zeicheninterpretation werden geistige Tätigkeiten „ohne Anteil eines reflektierenden Bewußtseins realisierbar“ (ebd., S. 77). Dabei gehe jedoch etwas verloren, das KRÄMER als „Begründungswissen“ bezeichnet (ebd., S. 82), denn „um eine Maschine bedienen zu können, brauchen wir gerade nicht zu wissen, wie sie funktioniert. Daß (sic!) wir verfügen können, ohne verstehen zu müssen, darauf beruht ja die Entlastungsfunktion der Maschinerie“ (ebd., S. 82).

2.2.2 Leistung ohne Einsicht – technische Expertensysteme als Blackboxes

Technisierung und Formalisierung markieren also Ablösungs- und Trennungsprozesse, die in der medien- und technikphilosophischen Reflexion als Trennung von „Verfügungswissen“ und „Begründungswissen“ (Krämer 1993, S. 82), von „Sachverständ“ und „Sachbeherrschung“ (Blumenberg 2020, S. 15) und aus der Perspektive technischer Professionen als Trennung des einfachen *Arbeiters* vom Techniker bzw. *Ingenieur* (vgl. Ortega y Gasset 1952, S. 496–503) bezeichnet wurden. In seinem Aufsatz *Lebenswelt und Technisierung unter Aspekten der Phänomenologie* markiert BLUMENBERG jene Trennung von Sachverständ und Sachbeherrschung im Kontext von Technisierung auch als „Antinomie [...] zwischen *Leistung* und *Einsicht*“ (Blumenberg 2020, S. 55; H. i. O.) und deutet dabei auf die unabwendbare „Kehrseite“ (Schulz-Schaeffer 2000, S. 46) jeglicher durch Technisierung ermöglichter Formen der Leistungssteigerung und Kapazitätserweiterung. Letztere sind nämlich unauflösbar mit der *Verdeckung* bestimmter mit der Technik verbundener Wissenszusammenhänge verknüpft. Technische Leistung erfolgt um den Preis fehlender Einsichtsmöglichkeiten des Menschen in die Technik, beide bilden die stets zusammengehörenden beiden Gesichter des technischen Januskopfs (vgl. Floridi 2015, S. 56 und ausführlicher in Abschnitt 3.4).

Diesen Doppelcharakter gesellschaftlicher Technisierungsprozesse erläutert BLUMENBERG u. a. im Zuge seiner Auseinandersetzung mit der dem Sophismus unterstellten Auffassung von *technē* (vgl. Blumenberg 2020, S. 15 f.). In Zusammenhang mit dem Sophismus hat auch Bernard STIEGLER den *technē*-Begriff im ersten Band seiner technik-

philosophischen Schrift *Technics and Time* (vgl. Stiegler 1998) aufgegriffen. Für STIEGLER markiert der Sophismus eine Bedeutungswende in der griechischen Auffassung von *technē*, bei der die Konzepte *epistêmê* und *technē* in der abendländischen philosophischen Tradition eine Trennung erfuhren (vgl. ebd., u. a. S. 1), durch die wiederum die Denkfigur der Unvereinbarkeit von *Technik* und (wahrem) *Wissen* Einzug in das abendländische Denken hielt (weiterführend vgl. Abschnitt 4.2). STIEGLER verortet die Anfänge dieser Trennungsbewegung im politischen Umfeld Athens des 5. Jahrhunderts vor Christus, als *technē* u. a. auch mit der rhetorischen Kunstfertigkeit der Sophisten assoziiert wird. Vorworfene wurde den sophistischen Rhetorikern, sie praktizierten Rhetorik in Form *unreflektierter Kunstgriffe*, die auch ohne das Wissen um deren Bedeutung schlicht „funktionierten“ (vgl. Frabetti 2011, S. 3; Stiegler 1998, S. 1 und 91–92). Demzufolge kultivierten Anhänger des Sophismus die Redekunst als „Universalmethode“, und „lehrbare techne“, was diese für Denker wie PLATON „zu Mitschuldigen an der politisch-sittlichen Misère (sic!)“ (Löbl 2003, S. 174) ihrer Zeit machte. Die Form des vom Wissenden ablösbar, explizierbaren und damit auch explizit „lehrbaren“ Wissens, das der Begriff der *technē* vorgeblich sophistischer Ausprägung propagierte, werde dabei gänzlich von seiner Fundierung in der *epistêmê* und damit nach abendländisch-philosophischer Tradierung vom Streben nach *wahrem Wissen* abgetrennt – so der Vorwurf an die Sophisten.¹³ BLUMENBERG zufolge führte die Sophistik im Feld der Politik und des Rechtswesens erstmalig die Möglichkeit einer „freigesetzten und isolierten „Technik“ vor Augen, indem sie eine Ausbildung versprach, „nach der man nur noch zu wissen brauchte, wie man es macht, die die Handgriffe und Kunstregeln beherrschen lehrte, die zu einem beliebigen Ziele zu führen vermochten unter Absehung jeder Einsicht in Recht, Grund und sachliche Notwendigkeit der übermittelten Formulare“ (Blumenberg 2020, S. 15; H. i. O.). Dass man aber „eine Technik in diesem Sinne erlernen konnte, daß (sic!) man sich auf die Sache verstehen konnte, ohne die Sache selbst zu verstehen [...], unterschied das technische Sich-Verstehen-auf von dem theoretisch-wissenschaftlichen Verhältnis zum Gegenstand“. Vergessen blieb dabei, dass im Rahmen von *technē* „Technik und Wissen, Fertigkeit und Einsicht in der Wurzel“ zusammengehörten und „im Grunde ein und dasselbe waren“ (ebd., S. 14 f.).

In *Lebenswelt und Technisierung* setzt sich BLUMENBERG insbesondere mit der phänomenologischen Position Edmund HUSSERLS und dessen Technisierungsbegriff ausein-

¹³ So heißt es im 9. Buch der aristotelischen Topik: „Die Anleitung derer, die aus den sophistischen Beweisen ein Gewerbe machten, war etwas Ähnliches wie die Kunst des Gorgias. Die einen ließen rhetorische, die anderen erotetische Reden auswendig lernen, die nach ihrer Meinung auf die meisten Reden für und wider eine Sache paßten [...] (sic!) So war der Unterricht für ihre Schüler zwar kurz, aber ohne die Unterlage eines fachspezifischen Wissens und Könnens. Sie wöhnten zu unterweisen, da sie doch keine Theorie, sondern nur deren Ergebnisse vorlegten. So machten sie es ähnlich wie ein Mann, der jenes Wissen zu lehrern versprach, das dafür sorgt, daß (sic!) den Leuten die Füße nicht weh tun, der dann aber nicht die Schusterei lehrte und die Mittel und Wege zeigte, um dababei den gedachten Zweck zu erreichen, sondern eine reiche Auswahl aller möglichen Schuhe zur Verfügung stellte: auf diese Weise hätte er ja freilich dem Bedürfnis abgeholfen, aber keine Kunst gelehrt“ (zit. nach Löbl 2003, S. 192 f.).

ander. HUSSERL hatte Technisierung in seiner Krisisschrift bereits als unaufhaltsame Entwicklung gekennzeichnet, die für ihn allerdings durch die phänomenologische Methode eines „nachholenden Vollzuges der Genesis“ (Blumenberg 2020, S. 41 f.) reflexiv einholbar bleibt. Durch einen solchen Nachvollzug der „ursprüngliche[n] Sinngebung der Methode“ jener sinnentleerten und zur „rechnerische[n] Technik“ (Husserl 2012, S. 49 f.) geratenen Naturwissenschaften, die HUSSERL in seiner Krisisschrift kritisiert hatte, kann deren „Urstiftungssinn“ wiederhergestellt werden. Dies ist möglich, indem dem „Immer-Fertigen“ der Technisierung das „Immer-Anfangende des philosophischen Denkens“ (Blumenberg 2020, S. 42 f.) entgegengesetzt werde.

Während HUSSERL also davon ausgeht, dass eine „Appellation an den Ursprung“ möglich bleibt, so ist BLUMENBERG davon überzeugt, dass „Entdeckung und Verdeckung“ im Kontext technisierter Prozesse der Wissensgenese stets als „untrennbar verschwistert“ zu betrachten sind und neues Wissen nur „um den Preis einer Vedeckung“ an anderer Stelle möglich ist (Blumenberg 2020, S. 37) – eine Annahme, mit der ich mich auch im Kontext der digitaltechnikbasierten Erkenntnisarbeit auseinandersetze (vgl. Abschnitt 5.1.3) und die sowohl für die Frage nach dem technikvermittelten wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt als auch für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb technisch geprägter Weltzusammenhänge von Bedeutung ist.

BLUMENBERG zufolge ist HUSSERL sich in seiner Kritik an der Technisierung der Naturwissenschaften nämlich nicht im Klaren darüber, wie sehr auch die Prämissen der phänomenologischen Methode inklusive ihrer „*Unendlichkeitsimplikation*“ (Blumenberg 2020, S. 48; H. i. O.) auf Formen der Technisierung angewiesen sind, denn Technisierung ziele auf *Kapazitätssteigerung* – das heißt auf die Überschreitung der Kapazitäten des einzelnen zeitlich und räumlich begrenzten Menschenlebens. Erst eine solche Kapazitätssteigerung erlaube es überhaupt erst, „Sprünge zu machen, statt Schritte zu gehen“ (Blumenberg 2020, S. 54). BLUMENBERG macht damit auf einen Widerspruch aufmerksam, dass nämlich dem phänomenologischen Bestreben, der „Unendlichkeit der Erfahrung“ im Sinne eines steten theoretischen Fortschritts nur beizukommen ist, wenn jeweils „das geschichtlich je schon Geleistete zur Voraussetzung des noch zu Leistenden gemacht werden kann“. Dies wird aber letztlich nur durch eine „Funktionalisierung“ bzw. Dekontextualisierung und Objektivierung eines bereits Erfahrenen möglich, das schließlich als „nur noch erlernbarer Erkenntnisbesitz und als übernehmbare Methodik“ tradiert werden kann (Blumenberg 2020, S. 45). Dabei identifiziert BLUMENBERG gerade die *Formalisierung* als „handlichste, dienstbarste Art“ jener Funktionalisierung. Formalisierung ist aber, wie auch KRÄMER betont (s. o.), potentiell auch schon Mechanisierung, „denn was formalisiert werden kann – das heißt: was seine Anwendbarkeit unabhängig von der Einsichtigkeit des Vollzuges gewinnt –, das ist auch im Grunde schon mechanisiert, auch wenn die realen Mechanismen zu seiner Speicherung und geregelten Assoziation nicht bereitgestanden haben“ (Blumenberg 2020, S. 45).

Wenn HUSSERL also das Streben nach dem „letzten Sinn des menschlichen Daseins“ als „unendliche Aufgabe“ betrachtet, dann ist klar, dass diese sich nicht innerhalb eines einzelnen Menschenlebens realisieren lässt, der einzelne Mensch kann die unendliche Auf-

gabe nicht erfüllen, sondern kann lediglich als „Funktionär in einen ihn übergreifenden Zusammenhang“ eintreten, dies erfordert aber „Übertragbarkeit, Methodisierung, Formalisierung, Technisierung“ (ebd., S. 49). Was HUSSERL also im Kontext der Technisierung der Naturwissenschaften als Sinnverlust anmahnt, deutet BLUMENBERG in einem viel breiteren Sinne als „selbst auferlegten Sinnverzicht“ (Blumenberg 2020, S. 46; H. i. O.) und schließlich als Preis einer durch „unreflektierte Wiederholbarkeit“ (ebd., S. 45) gewonnenen Kapazitätserweiterung des Menschen, die dadurch möglich wird, dass bestimmte technisch vermittelte Anteile menschlichen Handelns der *Einsicht* in ihre Ursprungskontexte nicht mehr bedürfen, um von deren Wirkungen profitieren zu können. BLUMENBERGS Sinnverzicht, so die Interpretation SCHULZ-SCHAEFFERS, sei damit „nichts anderes als der Preis, den man zu zahlen bereit sein muss, um einmal Geleistetes weitergeben zu können, ohne das Rad buchstäblich jedesmal neu erfinden zu müssen“ (Schulz-Schaeffer 2000, S. 46).

Um einmal Geleistetes aber in Form technischer Objekte für andere nutzbar bzw. dienstbar zu machen, müssen diese in einer Form vorliegen, die gewünschte Effekte als das „mühelos Verfügbare“ zugänglich macht (Blumenberg 2020, S. 39). BLUMENBERG beschreibt eine solche Technik als „Sphäre von Gehäusen, von Verkleidungen, unspezifischen Fassaden und Blenden“. Diese verbergen einerseits die „Kompliziertheit“, die dem Erzielen der gewünschten Effekte innewohnt. Andererseits reduzieren sie den „menschlichen Funktionsanteil [...] auf das ideale Minimum des Druckes auf einen Knopf“ (ebd., S. 39): „Im Ideal des ‚Druckes auf den Knopf‘ feiert der Entzug der Einsicht (im wörtlichsten Sinne des Hineinsehens!) sich selbst“. Der Druck auf den Knopf symbolisiert dabei die technische Welt von „Befehl und Effekt“, die durch „Auslösefunktionen gekennzeichnet ist“. Hinter dem Auslöser verborgen bleibt dabei „eine lange Vorgeschichte menschlicher Entdeckungen, ein ganzer Komplex erforderischer Leistungen“, die der Knopf als Auslöser „in seiner abstrakten Uniformität verdeckt und entzieht“ – ja er wäre sogar ein „schlechtes ‚Produkt‘“, wenn er Menschen in „seine Eingeweide sehen“ ließe (ebd., S. 30–40).

Das Verbergen von Funktionszusammenhängen in Gehäusen kann nach SCHULZ-SCHAEFFER, der hier auf Bruno LATOUR (1987) rekurriert, als „black-boxing“ (Schulz-Schaeffer 2000, S. 46; H. i. O.) bezeichnet werden. Potenziert wird dieses noch, wenn eine solche in Gehäusen verschwindende Technik „der Lebenswelt implantiert“ wird (Blumenberg 2020, S. 41), wenn die technischen Gehäuse sich also ganz selbstverständlich in unsere alltäglichen Handlungszusammenhänge integrieren, wenn Technik als die ursprünglich „künstliche Realität“ wieder in das „Universum der Selbstverständlichkeit“ (ebd., S. 40) rückt. Wird Technik in diesem Sinne schließlich selbst zur *Lebenswelt*, dann rückt sie, die „im theoretischen Fragen unselbstverständlich“ geworden war, wieder zurück „in die Fraglosigkeit“ (ebd., S. 41; H. i. O.). Umschrieben sei hier mit BLUMENBERG und SCHULZ-SCHAEFFER der Begriff der *technischen Lebenswelt* als eine der selbstverständlich gewordenen technischen Objekte, wie sie menschliche Lebenswelten heute beispielsweise auch im sogenannten *Internet der Dinge* in Form computerisierter Alltagsgegenstände „bevölkern“ (Robben/Schelhowe 2012b, S. 8).

Die Entlastungsfunktion, die Technik aufgrund der Invisibilisierung ihrer Funktionszusammenhänge ausübt, wird auch im Kontext sogenannter *Expertensysteme* nachvollziehbar, mit denen nutzende Laien auf Expertenwissen zurückgreifen können, ohne dieses im Einzelnen kennen zu müssen. Expertensysteme stellen demnach einen „Zusammenhang von Aktivitäten“ her, „die darauf gerichtet sind, bestimmte regelgeleitete Ereigniszusammenhänge in einer Weise einzurichten und aufrechtzuerhalten, die deren nichtfachkundige Nutzung als Ressourcen ermöglichen“ (Schulz-Schaeffer 2000, S. 222 f.). SCHULZ-SCHAEFFER rekuriert dabei u. a. auf die Arbeiten von Anthony GIDDENS. GIDDENS zufolge sind Expertensysteme „Systeme technischer Leistungsfähigkeit oder professioneller Sachkenntnis, die weite Bereiche der materiellen und gesellschaftlichen Umfelder, in denen wir heute leben, prägen“ (Giddens 1995, S. 40 f.). Expertensysteme sind in Anknüpfung an GIDDENS „Systeme der Bereitsstellung von Ressourcen des Handelns“ (Schulz-Schaeffer 2000, S. 211), dies jedoch nicht für die Expertinnen und Experten selbst, sondern für „Normalmenschen“ (Giddens 1995, S. 181), und damit beispielsweise für solche Personen, die „Gebäude bewohnen ohne Architekten zu sein“ (Schulz-Schaeffer 2000, S. 11 f.). Für GIDDENS ist es dabei unerheblich, ob Expertenwissen in Form „sachtechnischer Fixierung oder sachkundigen Expertenhandelns“ zur Verfügung steht, er betont vor allem die Tatsache, dass Expertensysteme darauf abzielen, Ereigniszusammenhänge und Expertenwissen als Handlungsressourcen sicherzustellen (ebd., S. 235). Weil in diesem Konzept des Expertensystems nicht zwischen Systemen professioneller Sachkenntnis, wie sie beispielsweise von Ärzten angeboten wird, und technischen Systemen unterschieden wird, kann es SCHULZ-SCHAEFFER zufolge auch zur Analyse von *Sachtechnik* herangezogen werden (vgl. ebd., S. 235) und kann Sachtechnik damit als *Vergegenständlichung von Expertenwissen* gedeutet werden. In dieser ist Expertenwissen in Form routinierter, regelgeleiteter Ereigniszusammenhänge inkorporiert, die Menschen wiederum als Handlungsressourcen nutzen können. Was kennzeichnet jedoch den menschlichen Umgang mit Expertensystemen und wie lässt sich das Verhältnis von Mensch und Technik in diesem Zusammenhang beschreiben?

Hier stellt GIDDENS maßgeblich die Bedeutung des *Vertrauens* heraus, das für ihn „in fundamentaler Weise mit den Institutionen der Moderne verbunden“ ist (Giddens 1995, S. 39). Im Rahmen von Expertensystemen wird Vertrauen jedoch nicht „in Individuen gesetzt, sondern in abstrakte Fähigkeiten“. Vertrauen wir beispielsweise darauf, dass das Haus, in dem wir wohnen, nicht einstürzt, so vertrauen wir auf das Expertenwissen der den Bau organisierenden Architektinnen, Architekten und Bauunternehmen, ohne uns dieses selbst anzueignen. Unser „Glaube“ gilt dabei weniger der „Tüchtigkeit“ jener Expertinnen und Experten, sondern der „Trifftigkeit des von ihnen angewandten Expertenwissens“, das im Regelfall aber niemals vollständig überprüfbar ist (ebd., S. 41). Im Kontext von Expertensystemen meint Vertrauen also nicht den „Glauben an die ‚moralische Rechtschaffenheit‘ von Expertinnen und Experten, sondern den Glauben an die ‚Richtigkeit von Prinzipien, über die man nicht Bescheid weiß‘“ (ebd., S. 49). Der damit verbundene Glaube beruht dabei auf „Erfahrung“, nämlich der, dass „solche Systeme im allgemeinen so funktionieren, wie man es von ihnen erwartet“ (ebd., S. 43).

Im Vertrauen auf ihnen unbekannt bleibende Funktionszusammenhänge – das „Warum“ jener objektivierten Ereigniszusammenhänge – entwickeln Laien schließlich ein „Umgebungswissen“, das ihnen die Nutzung der Systeme als Handlungsressourcen ermöglicht (Giddens 1995, S. 141; vgl. auch Schulz-Schaeffer 2000, S. 212–217), so beispielsweise beim Autofahren ein Wissen um die Wirkungen, die der Druck aufs Gaspedal erzeugt. Während die Beschreibung „Gas geben“ für den Prozess der Aufbereitung von Treibstoff und Zuführung in die Brennkammern des Motors für Konstrukteure sicher nicht weiterführend ist, reicht sie als Umgebungs- bzw. Benutzungswissen für Nutzende in der Regel aus (vgl. Schulz-Schaeffer 2000, S. 217).

Wie erwerben Laien aber ein solches Benutzungswissen? GIDDENS ordnet dieses in den von ihm skizzierten Prozess von *Entbettung* und *Rückbettung* ein. Demnach sind Expertensysteme zunächst *Entbettungsmechanismen*, insofern sie regelhafte Handlungsbeziehungen aus dem „Kontext situativer Praktiken“ entkoppeln (Schulz-Schaeffer 2000, S. 225). Wie bereits erwähnt geht es GIDDENS bei Entbettung um ein „[...] Herausheben“ sozialer Beziehungen aus ortsgebundenen Interaktionszusammenhängen und ihre unbegrenzte Raum-Zeit-Spannen übergreifende Umstrukturierung“ (Giddens 1995, S. 33). Entbettung ist damit an den Ablöseprozess anknüpfbar, der bereits in Abschnitt 2.1 als Dekontextualisierung von Wissen in der Technik skizziert wurde. Im Rahmen der *Entbettung* werden zunächst „Handlungsdispositionen durch explizite Handlungsvorschriften“ ersetzt, zudem wird auch die „Realisierung des explizit regulierten Zusammenhangs“ aus der situativen Praxis *gelöst* und dabei an gesonderte Expertinnen bzw. Experten, wie beispielsweise Ärztinnen und Ärzte, oder eben an sachtechnische Objekte delegiert (Schulz-Schaeffer 2000, S. 225). Entbettung ist dabei auch der zentrale Vorgang, der zur Leistungssteigerung solcher Handlungsressourcen führt. Der ‚Preis‘ für die Transfermöglichkeit entbetteter Ereigniszusammenhänge ist hier, wie erwähnt, die „Invisibilisierung“, damit meint SCHULZ-SCHAEFFER, dass das Regelwissen, das zur Auslösung der Ereigniszusammenhänge führt, im Inneren des Systems verschwindet (ebd., S. 225).

Rückbettung dagegen beschreibt jene Praktiken, durch die Laien die von den (technischen) Expertensystemen objektivierten Ereigniszusammenhänge in *eigene Handlungskontexte* einbeziehen (vgl. Schulz-Schaeffer 2000, S. 218). Nach GIDDENS werden entbettete soziale Beziehungen, wie sie in Expertensystemen enthalten sind, durch „Rückaneignung oder Umformung“ wieder „an lokale raumzeitliche Gegebenheiten“ (Giddens 1995, S. 102) geknüpft. Rückbettung beruht nach SCHULZ-SCHAEFFER zum einen auf „praktischen Gepflogenheiten des Handelns“, die bei der Entwicklung von Expertensystemen als gegeben vorausgesetzt werden, aber auch auf „Schemata der Handlungspraxis“, die sich bei der Nutzung der Expertensysteme erst herausbilden (Schulz-Schaeffer 2000, S. 225). Rückbettung gründet dabei auf einem „bidirektionalen Interpretationsprozess“: Expertinnen und Experten generieren „implizite oder explizite Erwartungen“ zum Verhalten der Nutzenden, die wiederum in die „Gestalt des gesicherten Ereigniszusammenhangs“, also in die Konstruktion des Expertensystems, einfließen. Nutzende stützen ihre Nutzungsgewohnheiten wiederum auf ihre Erwartungen über das Verhalten der technischen Systeme. Rückbettung als wechselseitiger Interpretationsprozess erfolgt dadurch,

dass durch Expertinnen und Experten interpretierte „Praxisschemata“ der Nutzenden schließlich „bedingend und ermöglicht auf die Strukturierung gesicherter Ereigniszusammenhänge“ im Expertensystem wirken, während diese Strukturen auf Grundlage der Interpretation der Nutzenden wiederum „bedingend und ermöglicht auf die Handlungsformen“ (ebd., S. 226) der Nutzenden rückwirken (vgl. dazu der kurze Abriss zur Entwicklung des Smartphones in Fußnote 21). Der Prozess der Entbettung und Dekontextualisierung von Wissen, dem die Konstruktion technischer Expertensysteme unterliegt, erfährt also in Nutzungskontexten wieder eine situative, lokale Rückbettung – ein Prozess, der mit Blick auf den ambivalenten Charakter des Technischen im folgenden Abschnitt noch ausführlicher analysiert wird.

Zusammenfassend für den vorliegenden Abschnitt kann gesagt werden, dass die Auseinandersetzung mit dem Konzept des Expertensystems als konzeptionelle Grundlage zur Konturierung des Technikbegriffs insbesondere die Tatsache in den Vordergrund rückt, dass „Technik routinisiert“. Dies bedeutet Petra GEHRING zufolge das „Überflüssig machen von Zwischenentscheidungen“ (Gehring 2007, S. 356; H. i. O.), was lebensweltliche Abläufe erleichtert und zur Entlastung von komplexen Handlungszusammenhängen beiträgt (vgl. auch Gehlen 2009, S. 19).¹⁴ In diesem Zusammenhang zitiert GEHRING Niklas LUHMANN (1997), der in seiner Schrift *Die Gesellschaft der Gesellschaft* einen Technikbegriff hervorhebt, der vor allem das *Funktionieren* als zentrale Eigenschaft des Technischen markiert. Dabei ist es unerheblich, „auf welcher Materialbasis die Technik funktioniert, wenn sie nur funktioniert. Es mag sich um physikalische, chemische, biologische, neurophysiologische oder auch bewußte Abläufe handeln, sofern sie nur so eingerichtet sind, daß (sic!) nicht laufend Zwischenentscheidungen erforderlich werden“ (ebd., S. 526).

Ausgerechnet das *Lesen*, so GEHRING, führt LUHMANN daran anknüpfend nun als Paradebeispiel für seine Vorstellung technisierter Prozesse an (Gehring 2007, S. 356 f.). Anhand des Beispiels des Lesens formuliert LUHMANN schließlich einen Reflexionsanspruch, der für eine bildungsorientierte Perspektive auf Technik als Dekontextualisierung und zugleich Invisibilisierung von Wissen erste Hinweise liefert. Formuliert wird hier die Frage danach, „wie man in einen automatisierten Prozeß (sic!) Alternativen und damit Entscheidungsnotwendigkeiten wiedereinführt – wie man zum Beispiel einen Leser dazu bringt, zu merken, daß (sic!) er gar nicht versteht, was er liest. Eine möglichst störungsfrei geplante und eingerichtete Technik hat genau darin ihr Problem, wie sie wieder zu Störungen kommt, die auf Probleme aufmerksam machen, die für den Kontext des Funktionierens wichtig sind“ (Luhmann 1997, S. 526). Denn das „Problem“ routinisierender Technik ist es, dass diese zwar im Automatismus einer störungsfreien Kopplung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen am besten „funktioniert“, dabei aber auch solche

¹⁴ Für Arnold GEHLEN gründet der menschliche Impuls zur Entwicklung technischer Automatismen im Wunsch nach „Gewohnheitsbildung“, „Routine“ sowie nach einem „Selbstverständlichwerden des Effekts“, die dem Menschen zur „Entlastung“ dienen (Gehlen 2007, S. 19; H. i. O.).

Unterbrechungen bzw. Störungen unterbindet, die für ein *Verstehen des Kontextes ihres Funktionierens* bedeutsam sein könnten. Geht es nämlich beim Lesen um eine „anspruchsvolle Technik zur (reflexiven) Sinnproduktion“ und nicht nur um ein Verfahren „der möglichst reibungslosen Buchstabenerkennung“, so genüge der störungsfreie Automatismus der routinisierenden Technik als einem Entziffern von Buchstaben und Worten nicht. Eine anspruchsvolle technische Praxis, die „Sinngewinnungsroutinen mobilisiert“, müsse zugleich für „Distanz zu ihrem eigenen Funktionieren“ sorgen, das heißt, ein „In-einander von Widerstandslosigkeit und Widerständigem“ in Form von „Distanzierungsanlässen“ ermöglichen (Gehring 2007, S. 357; H. i. O.). Das gilt für sinnverstehendes Lesen, wie GEHRING argumentiert, genauso aber auch für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb (digital)technischer Strukturen, wie noch zu zeigen sein wird (vgl. Abschnitt 6.3).

Aber – und hier zeigt sich das Widersprüchliche von Technik als *Bildungsgegenstand* – inwiefern ist es vor dem Hintergrund der *Antinomie von Leistung und Einsicht* und dem damit verbundenen *Sinnverzicht* sowie vor dem Hintergrund des von GIDDENS als unmittelbar mit Wissensbildungsprozessen der Moderne verbundenen genuinen Vertrauens auf (technisches) Expertenwissen überhaupt möglich, ein reflexives Verhältnis zur Technik zu entwickeln? Hartmut WINKLER argumentiert im Kontext der Automatismusforschung, dass es sich bei Automatismen um Vorgänge handelt, die sich „der gesellschaftlichen Reflexion entziehen“ (Winkler 2018, S. 17), indem sie sich – und hier bezieht er sich auf Arnold GEHLEN – „dem Bewusstsein entziehen und ins Unbewusste absinken“, damit aber „kritikfest und einwandsimmun“ werden (ebd., S. 22). WINKLER zufolge rekonstruiert GEHLEN damit eine „stumme Ordnung der Gesellschaft“, in der Technik „stumm“ bleibt (ebd., S. 21). Für die zeitgenössische Automatismusforschung fordert WINKLER jedoch, diese müsse „die Gesellschaftsordnung dort, wo sie auf stumme Vollzüge setzt, wieder zum Sprechen zu bringen“ (ebd., S. 27). Für Michael POLANYI, dessen Konzeption impliziten Wissens noch näher betrachtet wird, bedeutet der Versuch der expliziten Fokussierung von eigentlich stillschweigendem Wissens jedoch auch, dass es im Moment der Fokussierung seine Bedeutung als Mittel zur Genese neuen Wissens und damit seine Funktionalität verliert (aufführlicher vgl. Abschnitt 6.2.1).

Daran anknüpfend gehe ich davon aus, dass das Plädoyer, „Distanzierungsanlässe“ zu schaffen und „stumme Vollzüge wieder zum Sprechen zu bringen“, einen *Leistungsverzicht* erfordert, nämlich einen (zeitweisen) Verzicht auf die rein funktionale Bedeutung technischer Routinen als Handlungsressourcen und Mittel. Hinsichtlich der Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb (digital)technischer Strukturen enthält diese Diagnose auch einen *Bildungsauftrag*: Denn die von BLUMENBERG eröffnete Antinomie von Leistung und Einsicht heißt eben auch, dass eine ihre Funktionsweisen verbergende und als Handlungsroutine nutzbare Technik sich nicht einfach im *alltäglichen Handeln* ‚mit-reflektieren‘ lässt, sondern *dedizierte – hier als pädagogische gedachte – Räume* benötigt, in denen der Blick auf Technik als Erkenntnisobjekt überhaupt erst möglich wird (weiterführend vgl. Abschnitt 7).

Dekontextualisierung und Fixierung von Ereigniszusammenhängen in technischen Objekten führt dabei aber nicht nur zu Verdeckung bestimmter Wissensbestandteile, sondern gibt das in den technischen Objekten abgelöste, dekontextualisierte Wissen zugleich auch der mehr oder weniger freien Handhabe der Nutzenden jener Techniken preis, denn eine aus der Ägide ihrer Urheberin bzw. ihres Urhebers losgelöste Technik kann stets auch Objekt von Interpretation, Aneignung und damit häufig auch Veränderung werden. Entgegen der Deutungen von Technik als Sinnbild für Eindeutigkeit und Bestimmtheit muss Technik damit stets auch als *Möglichkeitsraum* verstanden werden, wie in den folgenden Abschnitten erörtert wird.

2.3 Technik als Möglichkeitsraum und Unbestimmtheit

2.3.1 Zur Ambivalenz der Technik

Bereits in PLATONS *Phaidros* zeigt sich, dass Techniken wie die Schrift eine Trennung ursprünglicher „Sinngebung“ – hier des gesprochenen Wortes – vom späteren Nutzungs-zusammenhang bewirkt. Im *Phaidros* ist die Rede davon, dass verschriftlichte Texte durch die Ablösung und fehlende ‚kommunikative Validierung‘ durch das gesprochene Wort ihrer Urheber der freien Handhabe ihrer Leserinnen und Leser preisgegeben werden, denn: „Ist sie einmal niedergeschrieben, dann treibt sich eine jede Rede überall herum, gleichermaßen bei denen, die sie verstehen, und genauso bei denen, für die sie gar nicht gedacht ist, und sie weiß nicht, zu welchen sie sprechen soll und zu welchen nicht. Wenn sie aber misshandelt und zu Unrecht beschimpft wird, benötigt sie stets ihren Vater als Helfer; denn sie selbst kann sich weder verteidigen noch sich selbst helfen“ (Paulsen/Rehn 2019, S. 72). Bereits bei PLATON kommt die „Differenz zwischen einem ursprünglichen Zweck und einer nicht bezweckten Wirkung“ einer Verschriftlichung zum Ausdruck, denn diese erzeugt einen „Überschuß“ und kann so eine „Eigenlogik“ entfalten, „die sich [...] sogar gegen die Intention ihrer Erfinder“ richten kann (Rohbeck 1993, S. 33).

In Bezug auf die Schrift bedeutet dies Dieter MERSCH zufolge, dass es keine Schrift gibt, „die nicht zugleich aufzeichnet oder dokumentiert, wie sie im selben Maße als Dokument oder Archiv die Erinnerung transformiert“ und gerade die Unvorhersehbarkeit in einem solchen Transformationsprozess, der im Konstruktionsprozess eines Schriftstücks nicht abzusehen war, ist das, was PLATON in seiner Einlassung zur Schrift kritisiert. MERSCH schlussfolgert, dass PLATONS Schriftkritik daher weniger als Kritik an der Schrift als *Medium*, also als Instanz zur Vermittlung von Zeichen und Inhalten, denn als Kritik an der Schrift als *Technik* zu verstehen ist, nämlich als letztlich schwer zu kontrollierende *Veräußerlichung* und damit *Dekontextualisierung* von Gewusstem und Erinnertem, durch die *Unbestimmtheitsräume* in Nutzungskontexten entstehen können. Schrift als Technik führt damit einerseits zum Verlust der Deutungshoheit der Urheberinnen und Urheber über das Verschriftlichte, denn diese haben keine ausreichende Handhabe darüber, was mit den in Schrift exteriorisierten Sinnzusammenhängen in ihren Rezeptions-zusammenhängen geschieht. Aufseiten der Lesenden ermöglichen sie zugleich Deutungs-

und Gestaltungsräume, insofern sie der ursprünglichen Bedeutungszuschreibung ihrer Autorinnen und Autoren nicht zwangsläufig unterworfen sind.

Damit lässt sich argumentieren, dass die Veräußerlichung einer Ursache-Wirkungs-Relation in einem physischen technischen Objekt ursprünglich intendierte Zweck-Mittel-Verknüpfungen transformieren, mitunter sogar ganz auflösen kann, es trennt sich das Vermittelte vom ‚Verursacher‘ ab und unterliegt damit einer *Dekontextualisierung*, wie im vorherigen Abschnitt bereits skizziert wurde. Zwar wird mit der Konstruktion sowohl eines schriftlichen Textes als auch eines technischen Objekts von deren Urheberinnen und Urhebern ein Zweck vorgestellt, in dessen Kontext jene als *Mittel* fungieren sollen – so beispielsweise zur Vermittlung spezifischer Bedeutungen, wie im Kontext der Schrift, aber auch von Routinehandlungen, wie im Kontext anderer technischer Objekte (vgl. Abschnitt 2.2.2). Doch erst die *Rekontextualisierung* und damit (situative) *Aneignung* des Mittels sowie des Vermittelten durch die Nutzenden führt zur Ausschöpfung (oder je nach Art der Rekontextualisierung eben auch zur Vernachlässigung) der in die Konstruktion technischer Objekte angelegten Potentiale. Rekontextualisierung – oder bei GIDDENS auch Rückbettung (s. o.) – kann dabei stets auch ursprünglich Nicht-Intendiertes zu Tage befördern. Wissenstheoretisch gesprochen muss in solchen Rekontextualisierungs- bzw. Rückbettungsprozessen ein im technischen Objekt inkorporiertes Wissen (“known”) durch einen aktiven Prozess des “knowing” wieder angeeignet werden (Dewey/Bentley 1949; vgl. auch Rammert 2016, S. 260). „Technikhandeln“, so schreibt Heidi SCHELHOWE bereits mit Blick auf die Computertechnik, „setzt ‚Aneignung‘ voraus. Nur durch ein aktives und interpretierendes Verhalten von Seiten der NutzerInnen können die Computerartefakte ihr Potenzial zur Geltung bringen“ (Schelhowe 2007b, S. 82). Solche Prozesse der Rekontextualisierung von Techniken in Nutzungszusammenhängen eröffnen aber stets auch Gestaltungsräume und können dabei auch zur *Transformation* ursprünglich intendierter Zwecke führen.

Dekontextualisierung bedeutet also stets auch die Öffnung technischer Objekte und Techniken für ein Eingreifen der häufig nur als ‚Adressaten‘ verstandenen Technik-Nutzenden. Aus diesen Überlegungen resultiert eine Vorstellung von Technik, die diese als zutiefst ambivalent markiert, denn die erwähnte Öffnung und das Entstehen von Unbestimmtheitsräumen in der Technik ist ein technikimmanentes Phänomen, liegt also in der Verfassung des Technischen als Dekontextualisierungsvorgang begründet. Einen solchen „Doppelcharakter“ des Technischen hat beispielsweise Johannes ROHBECK in philosophischer Perspektive herausgearbeitet (Rohbeck 1993, S. 216). In seiner Schrift *Technologische Urteilskraft* will ROHBECK vor allem den in Abrede geratenen Mittelbegriff durch die Analyse dessen Doppelcharakters des Mittels rehabilitieren und spricht sich damit für eine Neubewertung des Denkens in Zweck-Mittel-Kategorien aus. Zum Doppelcharakter technischer Mittel gehört einerseits, dass sie immer zugleich Zweck, nämlich eines Herstellungsprozesses, als auch Mittel, nämlich in ihren Nutzungskontexten, sind (vgl. Rohbeck 1993, S. 216). Den Mitteln kommt aber nicht nur durch die Trennung von Herstellungs- und Nutzungszusammenhang eine doppelte Bedeutung zu, sondern auch der Bereich der Zwecksetzungen selbst ist als ambivalent zu betrachten, denn Zweck meint

sowohl „ideelle Antizipation“ als auch deren „Realisation“, ist also immer „vorgestellter und verwirklichter Zweck“ (ebd. 1993, S. 215 f.). In diesem Verhältnis bildet das gegenständliche Mittel im wörtlichen Sinne die „Mitte“ zwischen den Dimensionen der Antizipation und Realisation technischer Zweckrealisationen. In Anknüpfung an die Argumentation ROHBECKS wird im weiteren Verlauf dieses Abschnitts die Vorstellung einer Ambivalenz des Technischen entfaltet, die wiederum die Grundlage für die Konturierung der digitalen Technik bildet (vgl. Abschnitt 3).

Jenseits der Argumentation von ROHBECK ist hinsichtlich der Genese technischer Mittel zunächst zu konstatieren, dass auch der *Zweck der Herstellung* eines technischen Objektes nicht als eindeutig bestimmbar zu betrachten ist, insofern der Technikgenese stets eine außerdordentlich *spekulative Dimension* zukommt. Dies ist der Fall, da der Prozess der Vergegenständlichung von Ursache-Wirkungs-Relationen in gegenständlichen (technischen) Mitteln nicht ausschließlich der unmittelbaren Bedürfnisbefriedigung dient, sondern in großen Teilen auch auf dem menschlichen Vermögen beruht, in *Fernzwecken* zu denken, wie u. a. in technikphilosophischer Perspektive Arnold GEHLEN und sein Schüler Gotthard GÜNTHER argumentieren (Gehlen 2016, S. 68; Günther 1963, S. 180 f.). Als typisch „menschliches Tun“ gilt dabei für GEHLEN nicht der „zufällige[...] Gebrauch eines vor Augen liegenden Werkzeugs für nächste Zwecke, sondern die Herstellung eines Werkzeugs für einen fernen Zweck“ (Gehlen 2016, S. 68), das heißt also für nicht unmittelbar an die aktuelle Lebenssituation gebundene Zwecke. Auch für Ernst CASSIRER gründen Prozesse der Technikentwicklung, ähnlich wie bei GEHLEN, auf der menschlichen Fähigkeit, über ihre unmittelbaren Bedürfnisse hinauszublicken und dadurch stets auch *Möglichkeitsräume* mitzudenken: „Denn um das Werkzeug als solches zu erfinden, muß (sic!) der Mensch über den Kreis des unmittelbaren Bedürfnisses hinausblicken. Indem er es schafft, handelt er nicht aus dem Impuls und aus der Not des Augenblicks heraus. Statt unmittelbar durch einen wirklichen Reiz bewegt zu werden, blickt er auf ‚mögliche‘ Bedürfnisse hin, zu deren Befriedigung er die Mittel im voraus bereitstellt. Die Absicht, der das Werkzeug dient, schließt also eine bestimmte *Voraussicht* in sich. Der Antrieb entstammt nicht allein dem Drang der Gegenwart, sondern er gehört der *Zukunft* an, die, um in dieser Weise wirksam zu werden, in irgendeiner Weise ‚vorweggenommen‘ werden muß (sic!). Diese ‚Vorstellung‘ des Künftigen charakterisiert alles menschliche Handeln. Wir müssen ein noch nicht Bestehendes im ‚Bilde‘ vor unsinstellen, um sodann von dieser ‚Möglichkeit‘ zur ‚Wirklichkeit‘, von der Potenz zum Akt überzugehen“ (Cassirer 2011, S. 11; Herv. OM; vgl. auch Hubig 2006, S. 29). Die Objektivierung solcher Möglichkeitsräume wird damit bereits im Zusammenhang der Konstruktion technischer Objekte zu einem zentralen Ziel technischen Handelns. Technisches Handeln im Konstruktionszusammenhang ist in diesem Sinne Ausdruck *technologischer Einbildungskraft*: Eine solche Verbindung der Technikgenese mit Einbildungskraft ist auch bildungstheoretisch insofern von Interesse, als dass in der Diagnose Peter EULERS gerade die Missachtung von Technik als ein durch Einbildungskraft beförderter spekulativer Akt die Abwertung von Technik in die „Sphäre bloßer Mittel“ (Euler 1999, S. 220 f.) und damit die Verkennung des Bildungscharakters technischen Handelns zu Folge hatte. Einbil-

dungskraft, in der sich nach EULER in Rekurs auf Immanuel KANT die „reflexive und sensitive Seite der Vernunft“ manifestiert, erlaubt es dagegen „Phantasie und Weltgestaltung [...] in jedem Gegenstand der Kultur [...] aufzudecken“ und somit auch die Idee der „Bildung als Formung“ auf die „Höhe technologischer Herrschaft“ zu bringen (Euler 1999, S. 290 f.), indem der genuin spekulativen Charakter *technischer Gestaltung* reflexiv eingeholt wird und damit die Tatsache, dass auch technische Entwicklung und technischer Fortschritt ein Resultat *gestaltender Einbildungskraft* ist. Dies ist für EULER daher auch Aufgabe einer kritischen Bildungstheorie (vgl. ebd., S. 278 f.) und kritische Bildung zugleich eine, in der Bildungssubjekte „entwerfend gefordert sind“, um dabei Einbildungskraft auch mit dem Ziel einer „*Gegengestaltung*“ bzw. eines „*Gegenentwurfs*“ (ebd., S. 234; H. i. O.) produktiv werden zu lassen. Hier bieten sich, wie im bildungsbezogenen Teil dieser Studie genauer ausgeführt wird, insbesondere auch Möglichkeiten der Verbindung technischer Gestaltung mit der künstlerischen Medienproduktion an, durch die gerade jener spekulativen, auf Einbildungskraft gründende, Charakter konstruierenden technischen Handelns reflektiert werden kann (vgl. Abschnitt 6.3.3). Dass technisches Handeln und Konstruieren eher ein Agieren in offenen Gestaltungsräumen denn ein planmäßiges Objektivieren und Materialisieren eindeutiger Ursache-Wirkungsketten darstellt, kommt auch in Nutzungskontexten zum Ausdruck. Im Folgenden beziehe ich mich schwerpunktmäßig auf die Ausführungen von Johannes ROHBECK (1993).

Wie erwähnt, gehört es ROHBECK zufolge zum „Doppelcharakter“ technischer Mittel, dass sie stets sowohl *Zweck* eines Herstellungsprozesses als auch *Mittel* für einen nachfolgenden Gebrauch sind (Rohbeck 1993, S. 216). In Nutzungskontexten „verflüchtigt“ sich allerdings die Eigenschaft technischer Mittel „realisierter Zweck“ zu sein, „während die Aufgabe, als Mittel zu fungieren, eindeutig überwiegt“, für Nutzende bleibt die „instrumentale Funktion“ damit das „bestimmende Moment“ technischer Mittel (Rohbeck 1993, S. 216 f.; H. i. O.).¹⁵ Technische Objekte im alltäglichen Sprachgebrauch als „Instrumente“ oder „Mittel“ zu bezeichnen stellt für ROHBECK daher auch keine ungerechtfertigte „Wesensbestimmung“ der Technik dar. Dabei ist der „Mittelcharakter“ technischer Objekte jedoch nicht ontologisch, sondern nur aus ihrem jeweiligen „Vermittlungszusammenhang abzuleiten“ (ebd., S. 217) und unterliegt somit einer lediglich „relative[n] Fixierung“ (ebd. 1993, S. 218; H. i. O.).

In dieser dienen die technischen Mittel weder als ‚bloßes Mittel‘ der Ausführung von Menschen vorherbestimmter Zweckrealisationen und Handlungsziele, noch stellen sie einen reinen *Sachzwang* dar, der menschliche Handlungsmöglichkeiten und Ziele den technischen Bedingungen zwangsläufig unterwirft. Genauso wie technische Mittel zwar auf menschliche Handlungsziele rückwirken, Handlungsmöglichkeiten vorstrukturieren und damit mitbestimmen, so eröffnen sich in ihnen zugleich Gestaltungspotentiale, durch die die Nutzung von Technik nicht alternativlos bleibt. Denn die „gegenständlichen Mittel

¹⁵ Nutzen Menschen beispielsweise ein Auto, assoziieren sie damit in der Regel das Autofahren, nicht aber die Zusammenhänge, in denen das Auto entstanden ist (vgl. Rohbeck 1993, S. 217).

der Technik“, so ROHBECKs zentrale Argumentation, „*enthalten und offenbaren während ihres Gebrauchs immer mehr und andere Möglichkeiten, als zur Zeit ihrer Planung und Herstellung bezweckt waren*“ (Rohbeck 1993, S. 219; H. i. O.). Die Eigenschaft, stets mehr Möglichkeiten zu enthalten als ursprünglich bezweckt waren, kennzeichnet Technik dabei nicht erst seit der Industriellen Revolution, sondern von Anbeginn. Dass Technik schon immer ein generisches Potential für alternative Handlungsmöglichkeiten besaß, erläutert ROHBECK u. a. anhand der Entwicklung des Wasser- und Windrads. In der frühen Neuzeit wurde die *Trägheit* von Rädern als unerwünschter Nebeneffekt aufgefasst, wenn es darum ging, Räder in Bewegung zu setzen oder abzubremsen. Mit der Erfindung der Dampfmaschine wurde Trägheit aber eine nützliche Eigenschaft zur Bewegungserhaltung, die dazu verhalf, „die ‚toten Punkte‘ des Bewegungsablaufs zu überwinden“. Dazu musste das „Rad [...] nicht neu erfunden werden“, notwendig war aber die Entdeckung einer „neuartigen Anwendung einer bestimmten Wirkeigenschaft“ jener Technik (ebd., S. 232 f.).

Hans FREYER, auf den ROHBECK verweist, hatte in seiner Reflexion der Technik der industriellen Gesellschaft darauf verwiesen, dass ihr zentrales Charakteristikum darin bestünde, „Potenzen bereitzustellen für freibleibende Zwecke“ (Freyer 1970, S. 139; vgl. auch Freyer 1963, S. 167), und damit vor allem *Möglichkeitsräume* zu eröffnen. Die Technik schaffe „nicht mehr bloß spezifische Mittel für vorgegebene Zwecke. Sie schaffe geballte Kräfte, hochgradige Spannungen, manipulierbare Verfahrensweisen, die für viele Zwecke verwendbar sind. Sie schafft gleichsam ein Können überhaupt“, schreibt FREYER in seinen *Gedanken zur Industriegesellschaft* (Freyer 1970, S. 139). Schon die Dampfmaschine sei „in diesem Sinne kein Werkzeug mehr“, sondern eine Form des „Können[s] überhaupt“ (ebd., S. 139).

Für Arnold GEHLEN resultiert aus den Möglichkeitsräumen moderner Technik daher auch die Umkehrung tradierter abendländischer Vorstellungen einer *Zweck-Mittel-Relation*: „Es handelt sich immer weniger darum, für schon definierbare Zwecke die technischen Mittel der Herstellung, für vorgegebene Gegenstandsgebiete die besten Erkenntnismethoden zu finden oder allgemein bekannte Weltinhalte künstlerisch zu bewältigen, sondern umgekehrt: die Darstellungsmittel, Denkmittel, Verfahrensarten selbst zu variiieren, durchzuprobieren, bis zur Erschöpfung der Möglichkeiten ins Spiel zu bringen und zu sehen, was dabei herauskommt. Auch in der Technik geht man natürlich, wie früher, oft noch von Zwecken aus und sucht die Mittel dafür. [...] Daneben aber und zunehmend wichtig gibt es die umgekehrte Art der Problemstellung, nämlich die Frage, was sich Unvorhergesehenes aus einer gegebenen Verfahrensart herausholen lässt [...] Es geht darum, was man mit gegebenen Techniken [...], die man selbst wieder variiert, alles machen kann, ohne vorgegebenen Zweck, durch bewegliches Durchprobieren, so wie man nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen nicht nur die Bildverwendung entwickelte, sondern auch die Tiefenbestrahlung des lebenden Gewebes zu Heilzwecken“ (Gehlen 2007, S. 29 f.; Rohbeck 1993, S. 224). Das durch die „Abkoppelung der Mittel von einem vorher fixierten Zweck“ entstehende „*Spiel der Möglichkeiten*“ (Rohbeck 1993, S. 224; H. i. O.) wird für GEHLEN zum zentralen Charakteristikum zeitgenössischer Technik, die

sich vor allem durch ihre schwer zu antizipierenden, unvorhersehbaren Potentiale und Folgen auszeichnet. *Nicht-Antizipierbares* kann dabei einerseits das Entstehen unerwünschter oder gar katastrophaler Nebenfolgen technischer Entwicklungen bedeuten (vgl. Rohbeck 1993, S. 220). Es deutet aber zugleich auf die prinzipielle Möglichkeit, alternativer Zwecksetzungen und Gestaltungsoptionen, die gerade in den zeitgenössischen technischen Mitteln ausschöpfbar werden.

Freibleibende Möglichkeitsräume, die auch Nicht-Antizipierbares zutage befördern können, sind aber stets auch Einsprungspunkt und Anlass für Reflexion und damit Bildungsaufgabe (vgl. Abschnitt 6). Je größer die prinzipielle Ausschöpfbarkeit technischer Möglichkeiten, desto breiter und damit unüberschaubarer werden zugleich damit verbundene ‚Chancen und Risiken‘, also die mit ihr verknüpften menschheitsförderlichen Potentiale und bis hin zur Katastrophe reichenden Risiken. Wird nicht mehr vom „Zweck auf die notwendigen Mittel“, sondern von den „verfügbar gewordenen Potenzen“ aus gedacht, steht für FREYER nun die Frage im Vordergrund: „Was kann man mit den Antriebskräften, mit den Geschwindigkeiten, den Feinheitsgraden, den Sprengkräften [...] alles machen?“ (Freyer 1970, S. 139). Und ROHBECK ergänzt: „Was [...] kann ich nun alles wollen?“ (Rohbeck 1993, S. 224 f.). Das heißt: Welche Interessen kann ich mit ihr verfolgen? Gibt Technik nicht eindeutig vor, was mit ihr zu tun ist und ruft zugleich Nicht-Antizipierbares hervor, dann wird Reflexion über ihre Potentiale und Grenzen, ihre konstituierenden, bestimmenden Eigenschaften und das Ausschöpfen alternativer Gestaltungs- und Nutzungsmöglichkeiten zur Voraussetzung eines verantwortungsvollen Handelns mit Technik.

Die Konstitution gerade der zeitgenössischen Technik verortet ROHBECK in seiner Analyse nun in einem Aktionsradius, der sich weder durch Alternativlosigkeit noch durch unbegrenzte Möglichkeiten, sondern durch „[b]egrenzte Vielfalt“ (Rohbeck 1993, S. 248) auszeichnet. Welche Ziele in Nutzungskontexten mit technischen Objekten verfolgt werden können, wird durch die technischen Objekte zwar nahegelegt (vgl. zu Affordanz Abschnitt 2.4), jedoch nicht zwangsläufig determiniert (vgl. Rohbeck 1993, S. 223). Dass Technik immer „mehrere Möglichkeiten“ biete, bedeute jedoch nicht, dass „unendlich viele Anwendungsmöglichkeiten“ gegeben wären, niemals ließe sich mit einem Werkzeug „alles machen“, der eröffnete Möglichkeitsraum enthält nur „bestimmte Möglichkeiten“ (ebd., S. 251; H. i. O.).¹⁶ Begrenzend und bestimmt sind technische Mittel dabei vor allem durch das „Widerständige des Materiellen, die Tücke des Objekts, mit der jedes technische Handeln fertigwerden“ muss und das letztlich dazu führen kann, dass Handlungsziele „an ihren Realisierungsbedingungen scheitern“. Prinzipiell offen sind technische Mittel dagegen, da sie den „Horizont der Gebrauchsmöglichkeiten über die Antizipation der Herstellung hinaus“ (ebd., S. 230; H. i. O.) erweitern, und zwar deshalb,

¹⁶ ROHBECK unterscheidet in diesem Kontext zwischen Determinierung und Determinismus und erklärt, dass Determinierung häufig als Determinismus missverstanden werde, wenn Potentialität mit „Beliebigkeit“ und Bestimmung mit „Linearität“ gleichgesetzt würden (Rohbeck 1993, S. 251).

weil sie unentdeckte bzw. nicht intendierte potentielle Funktionsweisen bereits in gegenständlicher Form enthalten können (vgl. Beispiel des Rads oben).

Um möglichen Begrenzungen bzw. Widerständigkeiten vorhandener technischer Mittel zu entgehen, können „Techniker“, also die technisch Handelnden, ROHBECK zufolge einerseits neue Mittel erfinden. Aussichtsreicher sei es jedoch, Möglichkeitsräume in *vorhandenen* Mitteln auszuschöpfen. Aufgabe des technisch Handelnden sei hierbei also die „Ausschöpfung von schon bereitgestellten Instrumenten“ (Rohbeck 1993, S. 230) bzw. Potenzen. Dazu gehöre auch, „im Alten neue Anwendungen aufzufinden“ (ebd., S. 231), ein Vorgang, der genau jenes von ROHBECK in Rekurs auf GEHLEN postulierte technische „*Spiel der Möglichkeiten*“ markiert (ebd., S. 224 und 227; H. i. O.). In diesem Kontext kommt ROHBECK auf den von LÉVI-STRAUSS in seiner Schrift *Das wilde Denken* (vgl. Lévi-Strauss 2020) aufgeworfenen und später von Jaques DERRIDA (Derrida 1974, S. 183–184 und S. 241–242, 1972, S. 431 f.) weiter analysierten Terminus der *Bricolage* bzw. des *Bricoleurs* zu sprechen. LÉVI-STRAUSS unterscheidet zwischen dem „wilden Denken“ des ‚bastelnden‘ *Bricoleurs* und dem domestizierten Denken des *Ingenieurs*. Gekennzeichnet ist Bastelei vor allem durch die „nicht vorgezeichnete Bewegung“, z. B. „die des Balles, der zurückspringt, des Hundes, der Umwege macht, des Pferdes, das von einer geraden Bahn abweicht“ (Lévi-Strauss 2020, S. 29). ‚Wildes Denken‘ ist also stets ‚ungeskriptet‘ bzw. ‚unscripted‘ (Antonijevic/Cahoy 2018, Abs. 53). Der Bastler, so LÉVI-STRAUSS, ist derjenige, der „Mittel verwendet, die im Vergleich zu denen des Fachmanns abwegig sind“ (Lévi-Strauss 2020, S. 29). Im Unterschied zum von LÉVI-STRAUSS karikierten Bild des *Ingenieurs*, der Werkzeuge gemäß vorgezeichneter („geskripteter“) Ziele und Projektbeschreibungen passend herstellt und dabei eine möglichst hohe Perfection anstrebt, greift der Bastler auf das zurück, das ihm bereits vorliegt und macht es „passend“, wobei er auch Unvollkommenheiten in Kauf nimmt (vgl. Antonijevic/Cahoy 2018, Abs. 53; Knaus 2022, S. 55). Die Welt der Mittel des Bastlers ist begrenzt und „die Regel seines Spiels besteht immer darin, jederzeit mit dem, was ihm zur Hand ist, auszukommen“ (Lévi-Strauss 2020, S. 30). Nach dem „Prinzip ‚das kann man immer noch brauchen‘“ sammelt der Bastler unterschiedliche Werkzeuge und hebt sie auf, diese sind daher auch nur „zur Hälfte zweckbestimmt“, einerseits zwar soweit, dass „der Bastler nicht die Ausrüstung und das Wissen aller Berufszweige nötig hat“, andererseits aber auch nicht so weit, dass „jedes Element an einen genauen und fest umrissenen Gebrauch gebunden wäre. Jedes Element stellt eine Gesamtheit von konkreten und zugleich möglichen Beziehungen dar; sie sind Werkzeuge, aber verwendbar für beliebige Arbeiten innerhalb eines Typus“ (ebd., S. 30 f.). ROHBECK zufolge radikalisiert DERRIDA diese Vorstellung, indem er „die Unvorhersehbarkeit des Resultats von wie auch immer angewandten Mitteln“ (Rohbeck 1993, S. 227) im Kontext von *Bricolage* hervorhebt. Aufgrund der *Unvorhersehbarkeit der Resultate* sowie der Tatsache, dass der „*homo faber*“, so ROHBECK, seine Mittel und Produkte niemals aus dem Nichts schöpfe, sei nach DERRIDA die von LÉVI-STRAUSS überspitzt dargestellte Idee des *Ingenieurs* überhaupt ein „Mythos“ (Derrida 1972, S. 431), da vielmehr jeder „Diskurs zu einer gewissen Bastelei genötigt ist“ und daher sowohl Ingenieure als beispielsweise auch „Wissenschaftler

ebenfalls von der Art des Bastlers sind“ (ebd., S. 432). Bricolage, so ROHBECK, markiere die „Voraussetzungen einer *jeden* produktiven Tätigkeit“ (Rohbeck 1993, S. 227; H. i. O.), die „unvorhersehbare Ereignisse“ (Lévi-Strauss 2020, S. 30) generiert, da das jeweils „vorgefundene Material“ stets für „Überraschungen“ sorgen kann (Rohbeck 1993, S. 228).

Auch die digitale Technik soll schließlich als *begrenzte*, aber dennoch unterschiedlich *ausschöpfbare Vielfalt* im Sinne ROHBECKS konturiert werden. Digitale Technik wird dabei als sowohl *generisch* (allgemein und begrenzend) als auch *generativ* (produktiv) gedeutet, insofern sie „eine Gesamtheit von konkreten und zugleich möglichen Beziehungen“ darstellt und dabei Werkzeuge inkorporiert, die „verwendbar für beliebige Arbeiten innerhalb eines Typus“ sind (Lévi-Strauss 2020, S. 30 f.). In dieser Eigenschaft oszilliert digitale Technik zwischen *Offenheit* und *Geschlossenheit*, das heißt sie eröffnet Möglichkeitsräume, die nicht beliebige, sondern *bestimmte* sind, erlaubt darin aber dennoch ein umfängliches „Spiel der Möglichkeiten“ (Rohbeck 1993, S. 221–228). Dieser „potentielle Charakter“ (ebd., S. 224) markiert digitale Technik als Möglichkeitsraum, Spielraum und Experimentierfeld, in dem auch die Genese unvorhersehbarer Ereignisse und Überraschungen (s. o.) möglich ist (vgl. Abschnitt 5.2).

In dieser Deutung des potentiellen Charakters der Technik finden sich zugleich auch Anklänge an den Begriff des *Mediums*. Daher werden im folgenden Abschnitt zunächst einige in der Technik- und Medienphilosophie verhandelte Technikvorstellungen in den Blick genommen, die sich unter dem Begriff von *Technik als Medium* zusammenfassen lassen.

2.3.2 *Technik als Medium*

An ROHBECKS Analyse anschließend wird im Folgenden zunächst kurorisch in Christoph HUBIGS (2006) technikphilosophische Vorstellung von *Technik als Medium* eingeführt. HUBIG erweitert die Vorstellung von Technik als Mittel um ihre „*Ermöglichungsfunktion*“ (Hubig 2021, S. 123; H. i. O.), weil Technik eben „nicht bloß vorgegebene Möglichkeiten“ (Hubig 2006, S. 23) aktualisiert, sondern stets auch nach dem fragt „was sein kann“ (ebd., S. 115). Und genau dieser erweiterte Möglichkeitsraum konstituiert Technik für HUBIG als *Medium*. Dem Autor zufolge stellt die WEBER’sche Auffassung von Technik als „Inbegriff der Mittel“ das Technische in den Kontext des instrumentellen Handelns oder des „Steuern[s]“, das heißt der Erzeugung eines Outputs durch einen angemessenen Input (Hubig 2021, S. 123 f.). Technik sichert dabei zwar „Wiederholbarkeit, Erwartbarkeit und Planbarkeit instrumentellen Handelns“ (Hubig 2015, S. 7) und befreit dieses so „von Kontingenzen“ (Hubig 2006, S. 158), schafft in diesem Zuge aber stets auch „neue Möglichkeitsräume“ (ebd., S. 23). HUBIGS Auffassung von Technik als Medium bezieht sich dabei also weniger auf die Kommunikationsfunktion des Mediums als vielmehr auf die *Potentialfunktion* der Technik. Als solche ist Technik für HUBIG stets „Inbegriff möglicher einzusetzender Mittel sowie möglicher Mittelkonzepte“ (ebd., S. 12; H. i. O.).

Seine Vorstellung von Technik als Medium basiert HUBIG dabei u. a. auf Niklas LUHMANNS Kontrastierung von *Medium* und *Form* (vgl. Luhmann 2004, S. 225–228).

LUHMANN versteht Medium als *lose gekoppeltes System*, das einen Möglichkeitsraum für *feste Kopplungen* zur Verfügung stellt, wobei feste Kopplungen durch *In-Formatio* gebildet werden (vgl. Hubig 2006, S. 155). Bei LUHMANN stellt Medium das „Vorauszusetzende“ dar, durch das sich „eine Vielzahl möglicher Formen“ (Mersch 2013, S. 213) erzeugen lässt. Lose Kopplung deutet dabei auf ein „quasi-atomistisches Gefüge“ einer „offenen Menge von Elementen“, die wiederum eine unendliche Anzahl an Kombinationen zulässt. Medium fungiert in dieser Sichtweise als Dispositiv und Möglichkeitsbedingung, vor deren Hintergrund „konkrete Konstellationen“ (Formen) gebildet werden können. Aber auch Formen können wieder zu Medien und damit „zu Elementen für höhere Formen“ werden. Medien und Formen unterliegen daher einem „laufenden Prozess der ‚Kopplung und Entkopplung‘“ (ebd., S. 214). Kreative Prozesse im Hinblick auf Medien als lose Kopplungen erweisen sich damit als „Emergenz neuer Kombinationen oder als die Hinzufügung weiterer Elemente“ (ebd., S. 215). Medialität äußert sich also im Prinzip von „Kombinationen, Ordnungen, Baukästen oder Strukturen“ und entsprechend weit gefasst ist LUHMANNS Medienbegriff, unter dem er Konzepte wie Zeit, Schrift, Liebe, Geld und Macht als *Medien* begreift (vgl. ebd., S. 216; Luhmann 2004, u. a. S. 229).¹⁷

Auch HUBIG basiert seine Theorie von Technik als Medium auf der Idee von Medium als loser Kopplung. Lose Kopplungen bilden dabei den Raum *möglicher* technischer Mittel, in denen sich technische Mittel als feste Kopplungen in Form technischer Geräte, Apparate und Maschinen realisieren (vgl. Hubig 2006, S. 155).¹⁸ Was daraus entsteht, sind „[s]trukturierte Möglichkeitsräume“ (vgl. ebd., S. 143–191), die HUBIG allerdings nicht nur auf Basis der Unterscheidung von Medium und Form begründet, sondern auch auf Grundlage der begrifflichen Unterscheidung *innerer* und *äußerer* Mittel sowie innerer und äußerer Medialität. HUBIG bezieht sich dabei auf und erweitert John DEWEYS Medienkonzeption, der in seiner Schrift *Kunst als Erfahrung* ebenfalls zwischen inneren und

¹⁷ LUHMANNS Medienbegriff offenbart eine gewisse Offenheit, bei der auf jede „Vorentscheidung“, etwa für bestimmte Codes oder Apparate, verzichtet wird (Mersch 2013, S. 216). Vielmehr konstituieren sich Medien im Rahmen dieses Medienbegriffs als Prozess des beständigen *Koppeln* und *Entkoppeln*s und damit als „Differentiale, die übersetzen, transformieren oder verschieben, die aber als Differentiale nicht hervortreten, sondern nur in ihren Wirkungen“ zugänglich und beobachtbar sind (Mersch 2013, S. 217). Während MERSCH LUHMANNS Medienbegriff für seine Fundierung einer *Negativen Medientheorie* adaptiert (vgl. u. a. Mersch 2006), gründet Werner RAMMERT auch sein relationales Technikkonzept (vgl. Abschnitt 2.1) u. a. auf Niklas LUHMANNS Medium-Form-Unterscheidung, die er als Reflexionsrahmen für das Denken technischer Relationen überhaupt skizziert. Für RAMMERT eröffnen die Begriffe Medium und Form im Vergleich zu denen von Zweck und Mittel *erweiterte* analytische Möglichkeiten im Hinblick auf den Technikkonzept. Mit der Medium-Form-Relation lassen sich u. a. neuere technische Entwicklungen und aktuelle „Hochtechnologien“ wie die Informationstechnik und Biotechnik beschreiben (Rammert 2016, S. 80 f.).

¹⁸ Geräte und Maschinen sind aber nicht ausschließlich als feste Kopplungen zu begreifen, sondern fungieren gerade in ihren *Nutzungszusammenhängen* wieder als lose gekoppelte Medien bzw. Mittel. In dieser Deutung können selbst einfache technische Geräte wie ein CD-Player dahingehend als lose gekoppeltes Medium begreifen werden, als dass beim CD-Player „erst über bestimmte energetische Inputs und weitere Steuerungsleistungen“ Effekte erzielt werden können (Hubig 2006, S. 156).

äußeren Mitteln unterscheidet (vgl. Dewey 2021, S. 228 f.). Äußere Mittel zeichnen sich dadurch aus, dass sie aufhören zu wirken, sobald der Zweck erreicht ist. Innere Mittel bleiben dagegen „wesentlich im Ergebnis enthalten und führen, da sie den Zweck mitbestimmen, auch zu neuen ihnen gemäßigen Zwecken“ (Rohbeck 1993, S. 178). Innere Mittel sind also dadurch charakterisiert, dass sie sich *in den Zweck einschreiben* und von diesem verinnerlicht werden, solche Mittel bezeichnet DEWEY auch als Medien (vgl. Dewey 2021, S. 229). Während HUBIG DEWEYS Unterscheidung innerer und äußerer Mittel übernimmt, so hält er sie doch für zu undifferenziert, denn DEWEY bezeichnet nur die inneren Mittel als genuine Medien. HUBIG zufolge findet „die Übertragung von Eigenschaften des Mittels auf den Zweck“ aber auch als „äußerer (kausaler) Vorgang“ statt, denn als „*vorstellter* Vorgang betrifft er die innere Mittelhaftigkeit, als realisierter Vorgang die äußere“. Es sei daher von „inneren und äußeren Mitteln“ sowie von „innerer und äußerer Medialität“ zu sprechen (Hubig 2021, S. 125; H. i. O.). Technik als strukturierter Möglichkeitsraum zeigt sich schließlich darin, dass in ihr „in Abhängigkeit von Ausgangsbedingungen etwas ermöglicht wird“. Dieser Möglichkeitsraum umfasst zum einen „Spuren für...“ eine Realisierung“, indem er „das jeweils Unmögliche ausgrenzt“. Das bedeutet, dass jenseits der durch einen technischen Möglichkeitsraum gesetzten Grenzen entsprechende „Formungen weder realisierbar noch vorstellbar sind“ (Hubig 2006, S. 149). Als materialer Raum bedeuten Möglichkeiten aber auch eine „Exteriorisierung der Spur“ (Derrida 1974, S. 149), in der sich quasi als Abdruck ein „Surplus der Medialität in die Resultate fortschreibt“. Dieser wiederum erlaubt durch Abduktionen Rückschlüsse auf die Medialität der jeweiligen Technik. Oder anders ausgedrückt: „Medien im Sinne von äußeren Medien geben die materialen Bedingungen dafür ab, dass Medien im Sinne innerer Medien ihre Spuren hinterlassen können“ (Hubig 2006, S. 160), eine Einsicht, die medientheoretisch auch unter dem Begriff der „Performativität“ des Mediale analysiert wurde (vgl. Krämer 2004b). Innere Medialität ist damit als „reine Struktur des Organisierens von Raum, Zeit, Zeichengebrauch, Information, Kommunikation“ zu deuten, während äußere Medialität als „äußerer, kontingenter Träger“ innerer Medialität im Sinne einer Performanz des Mediale zu verstehen ist (Hubig 2006, S. 159).

Einer solchen Auffassung von *Technik als Medium*, wie sie von HUBIG verstanden wird, liegt Gerhard GAMM zufolge eine Vorstellung zugrunde, die nicht so sehr die „instrumentelle Funktion“, also Technik als „Werkzeug, als Mittel, als isoliertes Sachsystem“ im Blick hat, denn vielmehr den „dynamischen Vermittlungszusammenhang“, der durch sie konstituiert wird. Wird Technik in ihrem Vermittlungszusammenhang betrachtet, steht das im Fokus, „worin sich etwas abspielt“ und in dem „bestimmte Weichen gestellt werden (Dispositive), die sowohl als Bedingung der Möglichkeit von (etwas) fungieren als auch auf die Beschränkungen verweisen, die damit verbunden sind“. Nach diesem Verständnis bedeutet der Umgang mit Technik nicht den Umgang mit „dem Wirklichen (der Technik als einem Aggregat von Mitteln)“, sondern „mit dem Virtuellen (Technik als Medium)“ (Gamm 2005, S. 19 f.). Gamm plädiert entsprechend für eine Neuorientierung des philosophischen Technikdiskurses, demnach sei ein zeitgenössischer Technikbegriff

nur einer, der „*Technik als Medium*“ begreift“. Dabei müsse gefragt werden, „was es bedeutet, die moderne Technik von einer Art Unbestimmtheit durchquert zu sehen, die für ein umfassendes Verständnis technologischer Prozesse konstitutiv ist“ (Gamm 2000, S. 279). Für GAMM ist *Medium* neben seiner Grundbedeutung als „globales Mittel zum Austausch gesellschaftlich verabredeter Zeichen“ vor allem „das, was dazwischen ist, dazwischentritt, die Mitte oder das Vermittelnde“. Medialität verweist entsprechend auf „Mitten und Räume, die sich zwischen Mensch und Mensch, Mensch und Natur, Mensch und Kultur, den Menschen und sich selbst geschoben haben.“ Technik als ein „Dazwischen“ manifestiert sich dabei für GAMM als „Beziehungsform“, über die „die soziale Kommunikation, der Nachrichtenfluß und der Austausch von Erfahrung ebenso laufen wie die Versorgung mit Elektrizität und Wasser, Nahrung und Gesundheit“. Dabei bleibt Technik stets „unsichtbare Mitte“, ja das „überzeugendste Argument“ für die genuine Medialität der Technik könne gerade darin gesehen werden, dass uns im täglichen Umgang mit technischen Gegenständen deren „technische Wirklichkeit“ nicht bewusst wird (ebd., S. 284).

Dabei bleibt zu berücksichtigen, dass die Medialität *technischer* Strukturen HUBIG zu folge zwar „in einer Hinsicht als gesonderter Bereich modelliert werden kann“, dass die Reflexion von Medialität selbst in der Vergangenheit aber bereits vielfach entlang des Technikbegriffs erfolgte, also die „absoluten Metaphern, unter denen wir zum Nachdenken über Medialität genötigt werden, ihren technisch-praktischen Ursprung nicht verleugnen können“ (Hubig 2006, S. 147) und damit gerade die Medialität der Technik in diesem Sinne als „Urszene des Medialen“ (Krämer 2018, S. 76) überhaupt gedacht werden kann. Daraus folgt für die vorgliegende Studie, dass das in ihr vollzogene Nachdenken über Technik bereits ‚per se‘ einen starken intrinsischen Zusammenhang zu Vorstellungen von Medialität bzw. zum Begriff des Mediums aufweist. So kann das Nachdenken über Medien – auch im Kontext medienpädagogischer Medienbegriffe – nur schwerlich ohne Rückgriff auf Vorstellungen von *Technik* erfolgen (vgl. Abschnitt 1.3) und zugleich die Reflexion der Technik nicht ohne Berücksichtigung ihrer Medialität erfolgen. Im Folgenden soll daher noch etwas näher konturiert werden, was im Kontext dieser Studie unter Technik als Medium bzw. Medialität der Technik verstanden werden soll.

Ein einheitliches Verständnis, was ein Medium überhaupt ist, existiert weder im akademischen (insbesondere medienwissenschaftlichen und mediophilosophischen) Fachdiskurs noch in unserem alltäglichen Verständnis. Matthias VOGEL zufolge bleibt der Medienbegriff als „theoretischer Tausendsassa“ daher „dramatisch unterbestimmt[...]“ (Vogel 2001, S. 114 f.). Medienwissenschaftliche Diskurse werden häufig implizit durch die entlang von Einzelmedien wie Schrift, Film oder Computerspiele entwickelten, aber nicht genau artikulierten Medienbegriffe geprägt (vgl. Mersch 2015, S. 13). Lambert WIESING deutet diesbezüglich auf die Theorieabhängigkeit von Mediendiskursen, bei denen sich in der medientheoretischen Diskussion der vergangenen Jahre häufig auch relativ weit gefasste Medienkonzeptionen durchsetzten, die sich wiederum nur umständlich auf die im Alltagsverständnis prominente Vorstellung von Medien als Kommunikationsmitteln beziehen lassen (vgl. Wiesing 2012, S. 237 f.; Ramming 2012, S. 249). Im Folgenden

werden ausgewählte Medientheorien aufgegriffen, die theoretische Anknüpfungspunkte für die Betrachtung der medialen Dimensionen von Technik bzw. von Technik als Medium erlauben.

Die Beschreibung von *Technik als Medium* zielt auf eine Erweiterung der Vorstellung von Technik als Mittel zum Zweck sowie als nützlicher Gebrauchsgegenstand, indem eine solche Beschreibung das generische, aber schwer zu artikulierende *Potential* jener Mittel fokussiert. Im Terminus *Medium* klingt also nicht nur das im alltäglichen Sprachgebrauch oft mitgedachte (*Hilfs-*)*Mittel* (z. B. der Kommunikation) an, das bis heute auch Vorstellungen von Technik prägt. Vielmehr kann Medium auch im Sinne von *Mitte* oder *Mittler*¹⁹ verstanden werden (vgl. Krämer 2008, S. 36), damit aber auch als Mittler technischer Potentiale. Die Mitte ist also „der Ort des Mediums“, analysiert Sybille KRÄMER aus frühen Verwendungsweisen des Medienbegriffs in Grammatik und Logik (ebd., S. 37). Dieser Ort kann sowohl *räumlich* als „Zwischenstellung“, *funktional* als „Vermittlung“ oder *formal* als „Neutralisierung“ verstanden werden (ebd., S. 37). Für die hier angestrebte konzeptionelle Auffassung von Medialität ist für mich dabei vor allem der Medienbegriff als *Funktionsbegriff* von Interesse, bei dem ein Medium erst im *Akt der Vermittlung* zum Medium wird – und solche Vermittlungsakte können sich in sehr unterschiedlichen ‚Dingen‘ vollziehen, darunter eben auch innerhalb und mithilfe technischer Geräte sowie im Rahmen technischen Handelns. Vermittlung kann dabei sowohl intentional erfolgen als auch in Form nicht intendierter Vermittlungsgeschehen.

Kommunikation ist dabei die Funktion, die auch im Alltagsverständnis am stärksten mit dem Vermittlungsgedanken des Medienbegriffs verbunden wird, in daran anknüpfenden Medientheorien wird Kommunikation dabei sowohl *handlungstheoretisch* als auch im Sinne *technischer Übertragungsmodelle* gedeutet. Letzteres lässt sich u. a. auf das *technische Übertragungsmodell* („Kommunikation-als-Übertragung“) (Krämer 2008, S. 13–15) in Anlehnung an die Kommunikationstheorie von Claude SHANNON und Warren WEAVER (1998) beziehen. Zum anderen lehnt der kommunikationsbezogene Medienbegriff aber auch am Modell der *personalen Verständigung*, wie er insbesondere in der *Theorie des Kommunikativen Handelns* („Kommunikation-als-Verständigung“) von Jürgen HABERMAS (1981) geprägt wurde (Krämer 2008, S. 13–15) und auf dem auch der bis heute in der Medienpädagogik grundlegende *Medienkompetenzbegriff* basiert (vgl. Baacke 1973; Baacke 1996). Die häufig unscharfe Bedeutung des Begriffs der Kommunikation ist u. a. auch auf ebendiese Doppelperspektive zurückzuführen, denn Kommunikation konnotiert nach wie vor sowohl das Modell der technischen Übertragung als auch das der personalen Verständigung (vgl. Krämer 2008, S. 13) – und zeigt damit nochmals die enge Verquickung der Deutungs- und Diskursgeschichte von Technik und Medium.

¹⁹ Zunächst hilft dabei ein Blick auf die Etymologie des Wortes Medium. Obwohl man sich VOGEL zufolge schwerlich auf der einfachen Übersetzungen des Begriffs „Medium“ ins Deutsche „ausruhen“ könne (Vogel 2001, S. 116), so bildet diese doch einen weiterführenden Ausgangspunkt für die Frage nach der Medialität der „Medien“ und im Anschluss daran an die Medialität der Technik. Demzufolge können sowohl „Mittel“ als auch „Mitte“ (Margreiter 2001, S. 207) als erste wortsinnngemäße Bedeutung von Medium gelten.

Während die Debatte um die Massenmedien und ihre von SHANNON und WEAVER entwickelte konzeptionelle Basis in der Informationstheorie noch die Vorstellung eines weitgehend neutralen Übertragungskanals suggerierte, der eine Botschaft ungehindert vom Sender zum Empfänger transportiert, so popularisierte spätestens Marshall MCLUHANS These *The Medium is the Message* (1984) die Annahme, dass Medien eben nicht als die „vernachlässigbaren Vehikel von Botschaften“ zu betrachten sind, sondern ihnen im medialen Vollzug auch eine „Prägekraft“ zukommt, wie Sybille KRÄMER argumentiert. KRÄMER bezeichnetet MCLUHANS These daher als Versuch, den „Medien ihre transitorische Transparenz und Neutralität zu nehmen, um sie sodann in ihrer eigengesetzlichen Opazität und instrumentellen Prägekraft sichtbar zu machen“ (Krämer 2008, S. 21).

KRÄMER wirft in ihrem Prolog zu ihrem Band *Medium, Bote, Übertragung* die Frage auf, wie der Medienbegriff so bestimmt werden kann, dass „sich darin sowohl die überkommenen Medien (z. B. Stimme, Schrift) wie auch die neuartigen Medien (z. B. Computer, Internet) erfassen lassen“, und identifiziert den Kern des Mediums schließlich in der Ambivalenz des „Botengangs“ (Krämer 2008, S. 9 f.). KRÄMER rekonstruiert dabei zum einen das „Verschwinden des Mediums hinter seinem Gehalt“, zeigt also, inwiefern der *Bote* sich im Vollzug der Übermittlung einer Botschaft überflüssig macht. Zum anderen kann ein solcher Übertragungsvorgang aber auch „kreativ sein“, dann nämlich, wenn der Bote nicht nur das überträgt, was ihm aufgetragen wurde. Gerade bei computerbasierten Übertragungsvorgängen finde demnach weniger eine „Datenübertragung“ denn eine „Datenverarbeitung“ statt, nicht die „Konservierung einer Ordnung“ stehe dabei im Vordergrund, sondern ihre „Transformation“ – der *performative Charakter* digitaltechnischer Verarbeitungsprozesse, der mit der Medialität digitaler Technik in Zusammenhang steht, wird im Verlauf der folgenden Abschnitte und auch in der Analyse digitaltechnikbasierter wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit von Bedeutung sein. Überzeugend wird ein medientheoretisches Übertragungskonzept also nur dann, so KRÄMER, wenn zugleich „die Kreativität der Medien rekonstruierbar“ wird (ebd., S. 11; H. i. O.). Zu fragen ist also, „auf welche Weise Medien das zu Übertragende mit bedingen und prägen“, sie müssen also sowohl in ihrem „*Wahrnehmungszusammenhang*“ als auch im Zusammenhang des „*Erscheinenlassen/s]*“ eines Gehaltes rekonstruiert werden (ebd., S. 40; H. i. O.). In Bezug auf die Annahme der Medialität digitaler Technik wäre also zu fragen: Inwiefern prägen computerbasierte Objektivierungen von Wirkzusammenhängen die durch sie in Erscheinung gebrachten Botschaften, Berechnungen, Resultate und Artefakte? Welche Möglichkeitsräume eröffnen sie? Inwiefern „verschwinden“ diese Prägekräfte dabei im technischen Vermittlungsvorgang?

Mit einem solchen *wahrnehmungstheoretischen* Zugang zum Medienbegriff setzte sich in den letzten Jahren u. a. der Medienphilosoph Dieter MERSCH (2013) auseinander.²⁰

²⁰ MERSCH identifiziert in der Entwicklung des Medienbegriffs drei wesentliche Theoriestränge: einen wahrnehmungstheoretischen, einen sprachtheoretischen und einen kommunikationstechnischen: Der *wahrnehmungstheoretische* Medienbegriff ist auf antike Vorstellungen zurückzuführen, die heute in

Während in den letzten Jahrzehnten vor allem sprachphilosophische und techniktheoretische Perspektiven auf den Medienbegriff dominierten, versucht MERSCH, eine wahrnehmungstheoretische Perspektive zu rehabilitieren und liefert damit, so meine Annahme, auch Anknüpfungspunkte für die Reflexion einer *Medialität von Technik*. Diese Verknüpfung ist nicht selbstverständlich, denn zunächst kritisiert MERSCH die Engführung des Medienbegriffs durch Versuche, Vorstellungen vom Medium entweder technisch-strukturalistisch oder auch technisch-mathematisch zu modellieren (vgl. Mersch 2013, S. 220), denn damit einher gehe die Reduktion von Medienvorstellungen auf „wenige Operatoren“ wie *Speicherung, Übertragung, Berechnung, Wiederholung, Reproduktion* und *Simulation* (ebd., S. 220; H. i. O.). MERSCH zufolge bildet ein solch *technizistischer* Medienbegriff, den er vor allem in den Medientheorien Vilém FLUSSERS und Friedrich KITTLERS wiederfindet, eine Vielzahl der Dimensionen von Medialität *nicht* ab, darunter insbesondere das „Erscheinenlassen, Darstellen, Kommunizieren, Lesen, Ordnen, Herstellen, Unterscheiden, Aufführen, Komponieren“ (ebd., S. 220 f.).

Medientheorie, so MERSCHs Kritik, habe ausgehend vom Vokabular fremder Theorien, dem Medienbegriff Vorstellungen aus Kybernetik und Informationstheorie „übergestülpt“, jedoch nur wenig Vorstellung davon entwickelt, worin *Medialität* selbst eigentlich bestehe – ein Desiderat, dem MERSCH durch die Entwicklung seiner *Negativen Medienphilosophie* nachgeht. In der Begründung seiner Medienphilosophie differenziert MERSCH zwei „Paradigmen medialer Relation“. Erstere resultiert, wie bereits erwähnt, aus den von Vilém FLUSSER und Friedrich KITTLER geprägten „Semiotizismen“ der 1960er, 1970er und 1980er Jahre und dem daraus hergeleiteten „systemtheoretische[n] und netzwerktheoretische[n] Vokabular“ oder aber knüpft an eine kybernetische und informationstheoretische Perspektive an, die in der von MERSCH als *technizistisch* bezeichneten Auffassung von „Übertragung“ gründet (Mersch 2015, S. 18).

Die Differenzphilosophie evozierte dagegen eine zweite paradigmatische Konturierung des Medienbegriffs, nämlich die Vorstellung vom Medium als *theoretisch Unbestimmbares*, das sich dem direkten Erkenntniszugriff entzieht und *nur indirekt* in ihren „Effekten“, „Praktiken“ oder „Spuren“ auffindbar wird (Mersch 2015, S. 18). Die *differenztheoretische* Auffassung verortet das Medium, wie auch bei KRÄMER der Fall (s. o.), in Vorstellungen des „Verschwindens“ und des „Entzugs“. Die Idee des Medialen als *Mediation*

einem *aisthetischen* Medienbegriff münden, der Medien als den „Stoff“ bestimmt, in dem „Anschauung geschieht“. Zweitens zeichnet sich ab dem 18. Jahrhundert ein *sprachtheoretischer* Medienbegriff ab: Mit der „Bewusstwerdung von Sprache als Medium des Denkens“ geriet dabei die Sprache zunächst zum „Darstellungsmedium“ mit allen Konnotationen der Repräsentation und des Gedächtnisses“ und führte dazu, dass der substanzialistische, stoffgebundene Medienbegriff zunehmend in den Hintergrund rückte. Drittens, entwickelte sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts ein *kommunikationstechnischer* Medienbegriff, der für den Diskurs um die Massenmedien zentral war. Zum bereits „entstoflichten“ Medienbegriff wurde nun die *kommunikative* und darin die zunehmend *operative Funktion* von Sprache zum Modell des Medienbegriffs. Dabei ergänzte die Erfahrung von Fotografie und Telegrafie das sprachbezogene Medienmodell um die Modelle der technischen Übertragung, Speicherung und Reproduktion (Mersch 2013, S. 12 f.).

oder *Vermittlung* scheint dabei „auf eine ‚Mitte‘ zu verweisen, die zunächst ebenso ungeklärt wie ungedeckt bleibt“ (Mersch 2015, S. 15). Diese „Mitte“ kann MERSCH zufolge als etwas verstanden werden, das „*etwas ist*“, also eine „materielle Entität“ mit Substanz (substanzialistischer Medienbegriff). Sie kann aber auch als „sich beständig entziehende“ Mitte aufgefasst werden, die auf „Differenz basiert“, und die „obgleich sie nicht ohne materielle Grundlage existiert, den Raum der Mediation von Beginn an zerteilt“. Diese Form der Mitte wäre dann nur als „Spur, als (räumliche) Abständigkeit oder (zeitliche) ‚Aufschiebung‘ (*différence*) entzifferbar“, das heißt also nur „indirekt“ durch die Betrachtung ihrer „Wirkungen“ und „Resultate“ (ebd., S. 16; H. i. O.).

Dass Medien in ihrem „Vollzug“ verschwinden und dabei etwas zum Erscheinen bringen, ohne dabei selbst in Erscheinung zu treten, charakterisiert den Kern des Mediums in dieser medienphilosophischen Lesart: „Wir sehen den Film und nicht die Kinoleinwand, hören gesprochene Worte und keine Schallwellen, sehen ein Bild und nicht die Pixel, aus denen es sich zusammensetzt“ (Krämer 2004b, S. 22; vgl. auch Jörissen 2017). Wenn „Medien etwas zum Vorschein bringen, dann treten sie selbst dabei zurück“, sie „vergegenwärtigen, indem sie selbst dabei unsichtbar bleiben“. Mediale Vermittlung, so argumentiert KRÄMER, ziele darauf ab, das zu Vermittelnde wie ein „Unmittelbares“ erscheinen zu lassen. Mehr noch: „Je reibungsloser Medien arbeiten und zu Diensten sind, umso mehr verharren sie unterhalb der Schwelle unserer Wahrnehmung“ (Krämer 2008, S. 27 f.).

Dieser Deutung nach entziehen sich Medien ihrer „Analysierbarkeit“, da ihre „Arbeit darin besteht, sich in der Erfüllung ihrer Funktion auszulöschen“ (Mersch 2006, S. 4). Etwas *über* Medien zu lernen bzw. *über* sie zu sprechen bedarf daher einiger *Umwege*, denn wahrnehmbar wird Medialität erst dann, wenn „Mediation scheitert“ (Mersch 2015, S. 37), erst in der „Dysfunktion und Störung“ tritt das Mediale hervor (Krämer 2008, S. 27). Medialität ist damit vor allem über Brüche, Störungen oder „Negation“, also nur *ex negativo*, fassbar. Dieter MERSCH begründet darin seine Überlegungen zu einer *Negativen Medientheorie* (vgl. u. a. Mersch 2006). Untersuchungsgegenstand wären in dieser wahrnehmungstheoretischen Deutung des Medienbegriffs damit nicht „die“ Medien“, sondern „allein die zugrunde liegenden Materialitäten, Dispositive oder Performanzen, die die medialen Prozesse begleiten und in sie eingehen, ohne sich mitzuteilen“ (ebd., S. 2 f.). Im Anschluss an MERSCHs Medientheorie formuliert Benjamin JÖRISSEN eine Herausforderung jener Vorstellungen von den „verborgenen Strukturen von Medialität“ auch für die Pädagogik, die „im Umgang mit etwas [begründet liegt], das sich systematisch der Sichtbarkeit und Gegenständlichkeit entzieht“ (Jörissen 2017, S. 4; Jörissen/Unterberg 2019, S. 19), und damit prinzipiell andere pädagogische Zugänge benötigt als eine direkte ‚Vermittlung‘ von Wissensbeständen *über* jene Medien bzw. die ihnen unterliegenden Techniken (vgl. Abschnitt 6.3).

Eine wahrnehmungstheoretische Auffassung von Medialität suggeriert für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb technischer bzw. digitaltechnischer Strukturen, dass sich deren Medialität nur auf *indirektem Wege* erschließen lässt, also anhand der „Resultate“, „Spuren“ oder im Falle des Nichtfunktionierens der Technik. Diese nur auf indirektem Wege erfahrbare Medialität technischer Objekte geht zudem einher mit einer

generellen „analytischen Unbestimmtheit“ moderner Technik, die entgegen dem Mythos des Technischen als „Synonym für Eindeutigkeit und Exaktheit“ heute als Leitbild eines zeitgenössischen Technikverständnisses gelten müsse (Gamm 2000, S. 276). Die analytische Unbestimmtheit der Technik resultiert dabei aus ihrer tiefgreifenden Verstrickung in gesellschaftliche Vollzüge und Strukturen, und damit, wie bereits argumentiert, aus ihrer Bedeutung als Soziotechnik, denn, so argumentiert Gerhard GAMM: „Je stärker oder nachhaltiger sich die Technologien mit den sozialen Zusammenhängen vernetzen, sich in unser Leben einschreiben, sich ihm anpassen, desto komplexer werden sie auch, also desto flexibler, offener, symmetrischer, für Optionen zugänglicher stellen sie sich heraus. Sie sehen sich wie die sozialen Beziehungen der Gesellschaft insgesamt einer rapiden Kontingenzerhöhung ausgesetzt“ (ebd., S. 295). Sowohl die immanente Unbestimmtheit von Technik im Sinne einer differenztheoretischen Deutung von Medialität als auch ihre äußere Unbestimmbarkeit, die der Technik aufgrund ihrer Verwicklung in soziale Vollzüge zukommt, kennzeichnen Technik dabei als *Medium*. Gerade aufgrund ihrer Unbestimmtheit konnte Technik aber zugleich „zum universalen Medium des Austausches“ werden (ebd., S. 283).

Im Hinblick auf eine als medial aufzufassende (digitale) Technik ist an dieser Stelle bereits festzuhalten, dass die *Nicht-Analysierbarkeit des Medialen* mit den Ansprüchen an die *Explizierbarkeit* von Wissen, wie es im Zusammenhang der methodisch-systematischen Wissensgenese in den Wissenschaften gefordert ist (vgl. Abschnitt 4.1), in einem Spannungsverhältnis steht. Davon ausgehend kann im Rahmen der bildungsorientierten Reflexion gefragt werden, welche Orientierungsmöglichkeiten innerhalb einer „sich entziehenden“ Technik sowohl in Erkenntnis- als auch Bildungskontexten dennoch möglich bleiben (vgl. Abschnitt 6). Die analytische Unbestimmtheit der Technik manifestiert sich dabei sowohl als Problem als auch als Lösung für die Möglichkeiten der Technikreflexion im Kontext von Orientierungs- und Bildungsprozessen. Die Vorstellung von Technik als Medium fasst Technik – und heute insbesondere die hinter vernetzten Infrastrukturen und Interfaces sich verborgende digitale Technik – als analytisch nicht auf direktem Wege feststellbare Größe auf, von der aber dennoch eine „Prägekraft“ (Krämer 2008, S. 21) ausgeht. In dem in dieser Studie entworfenen Reflexionsrahmen soll aber gerade die analytische Unbestimmtheit der Technik – ihre Offenheit – zugleich auch als ihr Potential entfaltet werden, insofern Offenheit auch Offenheit für Deutungs- und Gestaltungsmöglichkeiten meint, in denen wiederum Möglichkeiten für eine *erfahrungsbasierte* Orientierung innerhalb technischer Strukturen liegen (vgl. Abschnitte 6.2 und 6.3).

In den in Abschnitt 2 bisher dargestellten Überlegungen zeigte sich Technik als ambivalent. Sie zielt einerseits auf Bestimmbarkeit, Objektivierung, Formalisierung und damit Explizierung von Wissen und Handeln in technischen Objekten und Verfahren. Aufgrund ihrer Medialität enthält sie jedoch auch implizite Dimensionen, die nicht direkt zugänglich bzw. deutungsoffen bleiben. Zu fragen ist, wie diese Ambivalenz der Technik theoretisch so verortet werden kann, dass sie auch im Sinne des noch zu entfaltenden bildungsbezogenen Reflexionsrahmens anknüpfbar wird. Die folgende Diskussion unter-

schiedlicher Reflexionsbegriffe knüpft an die vorhergehende Analyse an und zielt darauf ab, die Ambivalenz der Technik zwischen Bestimmtheit und Unbestimmtheit, Möglichkeitsbedingung und Möglichkeitsraum näher zu bestimmen. Ausgangspunkt hierfür bildet der Begriff der *Struktur*.

2.4 Struktur, Affordanz und Performativität als Reflexionsbegriffe

In diesem Abschnitt werden die Reflexionsbegriffe *Struktur*, *Affordanz* und *Performativität* zur weiteren Konturierung des Spannungsfelds technischer Objekte zwischen Geschlossenheit und Offenheit, Prägung und Handlungsspielraum in den Blick genommen. Sie bilden die Bindeglieder für die im Anschluss vorgenommene konzeptionelle Betrachtung digitaltechnischer Strukturen. Auf dieser Grundlage wird außerdem in Abschnitt 5 analysiert, inwiefern die materialen und performativen Eigenschaften digitaler Technik wissenschaftliche Erkenntnisarbeit sowohl prägen als auch Erkenntnisräume erweitern. Als Struktur bringt digitale Technik selbst Strukturen hervor – sie ist in Rekurs auf die Habitustheorie von Pierre BOURDIEU also *strukturierende Struktur* (vgl. Bourdieu 1987, S. 98). Im Zusammenhang wissenschaftlicher Prozesse des Erkenntnisgewinns interessiert dabei die Spezifik dieser Strukturen und strukturierenden Eigenschaften. Dabei wird analysiert, inwiefern digitale Technik als *generische Struktur* Wissen und epistemische Praktiken *generalisiert*, aufgrund ihrer performativen Eigenschaften aber auch *neue Strukturvorschläge* liefert, durch die in Interaktion mit den menschlichen Wissenschaften neues Wissen entstehen kann.

Struktur

Der Strukturbegriff ist für die vorgenommene epistemische und später auch bildungsorientierte Betrachtung digitaler Technik zentral, und zwar, weil in ihm eine sowohl für Erkenntniszusammenhänge als auch Bildungskontexte bedeutsame Relation zum Vorschein kommt, die als das Verhältnis vom *Allgemeinen* zum *Einzelnen* bezeichnet werden kann (vgl. u. a. Euler 1999, S. 189; Verständig 2020). Vor allem im Hinblick auf das Verhältnis von *Struktur* und *Handeln* hat diese Verhältnisbestimmung auch die sozialtheoretische Debatte maßgeblich bestimmt (vgl. u. a. Giddens 1997). Dabei geht es in der sozialtheoretischen Betrachtung insbesondere darum, menschliches Handeln in Wechselwirkung mit gesellschaftlichen und kulturellen Strukturen – zu denen auch die Technik zählt – zu verstehen (vgl. auch Strübing 2005, S. 292–301). Im Zusammenhang von Technik und später auch der digitalen Technik geht es hierbei spezifisch um die Frage, wie menschliches Handeln in Relation zu technischen Strukturen als Allgemeinem – bzw. nach Peter EULER zur *Technologie* bzw. Technik als Weltbildung (vgl. Abschnitt 2.1) – verortet werden kann und welche Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten Menschen dabei eröffnet, aber auch verwehrt werden (vgl. Abschnitt 2.3).

Der Begriff der Struktur ist in diesem Kontext erklärungsbedürftig. Aus Sicht der pragmatischen Wissenschafts- und Technikforschung bezeichnet STRÜBING Strukturen als Ort der praktischen Konfrontation von Handelnden mit der „Gemachtheit“ der Welt“, mit

ihren Artefakten und den in diesen „implementierte[n] und/oder ‚gewusste[n]‘ Regeln“. In Handlungssituationen repräsentiert Technik als Struktur dabei „strukturelle Momente von Gesellschaft“ (Strübing 2005, S. 295). So verweist beispielsweise die „Anordnung der Griffen und Schalter an Toastern, Lampen und Fahrradklingeln [...] auf die Norm der Rechtshändigkeit“ und auch das Schienennetz der Deutschen Bahn manifestiert sich als Struktur, „die es uns in bestimmten Regionen ermöglicht, in anderen hingegen erschwert, auf das Auto als Beförderungsmittel zu verzichten“ (ebd., S. 297). Im Hinblick darauf wäre in Bezug auf die digitale Technik als Struktur zu fragen, unter welchen *Regeln* beispielsweise Erkenntnisprozesse und wissenschaftliche Erkenntnisarbeit innerhalb dieser Strukturen möglich sind und wie diese *reflektiert* werden können, damit sie zu „gewusste[n] Regeln“ werden können. *Infrastrukturen* sind dagegen STRÜBING zufolge mit „Routinehandeln“ vergleichbar, „dessen detaillierte Abläufe uns in deren Verlauf [...] nicht im Detail gewäßtig sind“ – die also unterhalb (*infra-*) der Schwelle der bewussten Wahrnehmung funktionieren. Infrastrukturen dienen dabei als „materielles Mittel bei der Verrichtung von Routinehandlungen“ (ebd., S. 300), die dem Handelnden meist erst dann bewusst werden, wenn sie *gestört* und Routinehandlungen dadurch unterbrochen werden.

Der Terminus der *Struktur* erhält in der folgenden Analyse zentrale Bedeutung, ich spreche dabei bewusst von digitalen bzw. digitaltechnischen Strukturen, wenn ich die menschliches Handeln formierenden sowie erkenntnisprägenden Konzepte und Prinzipien meine, auf deren Grundlage digitale Technik in ihren zahlreichen Erscheinungsformen sowie als *Infrastruktur* oftmals unbemerkt menschliche Handlungskontexte prägt. Digitale Technik als Struktur, die heute, wie bereits erwähnt, unter Vorstellungen einer „Kultur der Digitalität“ (Stalder 2017) oder „technologischen Bedingung“ (Hörl 2011) auf den lebensweltlichen Durchdringungscharakter digitaler Technik deutet, ist heute zum selbstverständlichen *Allgemeinen* geworden, in dem die unterliegende Technik zunehmend weniger „irritiert“ (Kerres 2023, S. 22).

An dieser Stelle sei vorab darauf hingewiesen, dass sich der Strukturbegriff seitens der Bildungs- und Medienbildungstheorie auch im Ansatz der strukturalen Bildung von Winfried MAROTZKI (vgl. Marotzki 1990) und daran anknüpfend in der Medienbildungstheorie von Benjamin JÖRISSEN und Winfried MAROTZKI etabliert hat (vgl. Jörissen/Marotzki 2009). Dies ist im Kontext dieser Studie deshalb von Bedeutung, da JÖRISSEN und MAROTZKI, und hier auch JÖRISSEN und VERSTÄNDIG (vgl. Jörissen/Verständig 2017) Medienbildung aus einer strukturalen Perspektive als einen Prozess deuten, in dem Bildungsanlässe und bildende Erfahrungen gerade *innerhalb aktueller Medienstrukturen* zu suchen sind und die insgesamt der Frage nachgehen, wie Bildung im transformatorischen Sinne dazu dienen kann, Strukturen und Rahmenbedingungen, die Selbst- und Weltverhältnisse bestimmen, zu reflektieren, um so zu höherstufigen Formen des Lernens (also Bildung) zu gelangen. Die Krux des Bildungsbegriffs bei JÖRISSEN und MAROTZKI besteht darin, Bildung nicht „inhaltlich“, sondern nur „strukturtheoretisch“ zu begreifen (Verständig/Holze/Biermann 2016, S. 4) und damit dahingehend, „dass ein modernes Bildungsverständnis nicht von bestimmten Bildungsinhalten ausgeht“, sondern vielmehr „strukturale Aspekte von Bildung“ (Jörissen/Marotzki 2009, S. 15; H. i. O.) im Vorder-

grund stehen, die sich durch die Begriffe der Orientierung, Flexibilisierung, Reflexivität und Tentativität beschreiben lassen. Fungieren Technik und technische Medien zugleich als Strukturen, dann geht es im Kontext von Medienbildung vor allem darum, welche *Formstrukturen* von Medien und Techniken zu bestimmen, die die genannten Orientierungsstrategien der Flexibilisierung, Reflexivität und Tentativität ermöglichen (vgl. ebd., S. 31–33) und damit Bildungsprozesse befördern können.

Affordanz

Theoretisch lässt sich die Vorstellung einer handlungsprägenden und handlungsermöglichen Struktur bzw. Infrastruktur auch über das Konzept der *Affordanz* verorten. Das sowohl soziologisch als auch medienwissenschaftlich für die Technik- und Medienreflexion bereits diskursiv aufgegriffene Konzept der *Affordanz* (vgl. Collins 2010; Hutchby 2001; Norman 2016; Schröder/Richter 2022; Zillien 2008) dient vor allem in seinen neueren Interpretationen als Beschreibungsmöglichkeit des Wechselverhältnisses menschlicher Handlungsmöglichkeiten und technischer Strukturen, in dem Technik menschliche Handlungsmöglichkeiten zwar rahmt, aber nicht determiniert, Technik hier also sowohl als *handlungsbegrenzend* als auch *handlungsoffen* begreifbar werden kann. Der Begriff der *affordance* wurde maßgeblich vom amerikanischen Wahrnehmungpsychologen James J. GIBSON (1982) geprägt, der damit den ‚Angebotscharakter‘ von (sowohl natürlichen als auch künstlichen) Objekten menschlicher Umwelt beschrieb (vgl. ebd., S. 137). GIBSON argumentierte, dass Menschen und andere Lebewesen natürliche und künstliche Objekte ihrer Umwelt hinsichtlich der Handlungsmöglichkeiten wahrnehmen, die diese ‚anbieten‘. Ein Stein kann die Affordanz eines Verstecks oder aber eines Wurfgeschosses bzw. Schattenplatzes besitzen und so Lebewesen auf unterschiedliche Art und Weise ‚ansprechen‘. GIBSON begreift Affordanz dabei als *Fixierung*, die ‚Angebote‘, die von den Objekten und der Umwelt ausgehen, ändern sich auch dann nicht, wenn sich „das Bedürfnis des Beobachters ändert“ (ebd., S. 150). GIBSONS Affordanzkonzept kann also insofern als „objektiv“ gelten, als dass jene Umweltangebote unabhängig von der Interpretation der menschlichen bzw. tierischen Akteure bestehen. Affordanzen, gerade in einer soziologischen Perspektive, haben aber auch eine subjektive Dimension, insofern sie stets auch aus einem Abgleich mit den „Handlungsmöglichkeiten“ (Zillien 2008, S. 165) der Akteurinnen und Akteure resultieren. Dementsprechend wirft Nicole ZILLIEN, die das Affordanzkonzept aus mediensozialer Perspektive analysiert, dem Affordanzkonzept von GIBSON eine gewisse Statik vor, denn dieses habe die Handlungs- und Aneignungspraktiken der Nutzenden kaum im Blick. Dies entspricht aber ZILLIEN zufolge nicht dem aktuellen in der Mediensoziologie – und hier kann auch die Medienpädagogik ergänzt werden – vorherrschenden Bild vom Rezipienten als *aktiv Handelndem* und kann auch in Bezug auf die Analyse von Nutzung und Wirkung von Technologien keinen ausreichenden Reflexionsrahmen bieten (vgl. ebd., S. 172; vgl. auch Knaus 2020). ZILLIEN fordert, dass das Affordanzkonzept, soll es in der medienbezogenen Reflexion Anwendung finden, dem Bild des *aktiven Rezipienten* Rechnung tragen muss sowie auch der Tatsache, dass aktuelle Informations- und Kommunikationstechniken im Vergleich zu ‚einfachen‘

technischen Objekten „deutungsoffene, komplexe Artefakte“ (Zillien 2008, S. 172) darstellen, deren Angebotscharakter sich im Zuge der Nutzung und im Abgleich mit den Handlungsinteressen und -möglichkeiten der Nutzenden verändern kann.

In der weiteren medien- und techniktheoretischen Reflexion erhält das Konzept der Affordanz dann auch einen zunehmend ambivalenten Charakter, vor dessen Hintergrund das Wechselspiel zwischen Mensch und dem Angebotscharakter technischer Objekte jenseits einseitig technikdeterministischer bzw. sozialkonstruktivistischer Deutungen reflektierbar wird. Tim KÖNIG deutet Affordanz als „soziomaterialistisch-relationale Perspektive auf Technik“, die eine Möglichkeit der Überwindung tradiert Dualismen, wie etwa dem von Subjekt und Objekt sowie Struktur und Handlung, bietet (König 2022, S. 339). Die Vorstellung von Affordanzen eines Objekts lassen sich aufgrund ihrer Invarianz zwar einerseits als *objektiv* bezeichnen, da sie auch „unabhängig von der Interpretation oder Einschätzung“ der beteiligten Akteure existieren. Andererseits können sie aber auch als *subjektiv* beschrieben werden, insofern sie auf unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten der Akteurinnen und Akteure treffen können (vgl. Zillien 2008, S. 167). Affordanz als „Reflexionsbegriff“ (König 2022, S. 337) erlaubt die Reflexion auf das Verhältnis von Subjekt zur (technischen) Welt und besitzt damit auch eine Relevanz für Bildungsprozesse bzw. die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen. Das Affordanzkonzept fungiert dabei als analytischer Mittelweg, der bereits im Grundgedanken des Konzepts angelegt ist, da „es eine wechselseitige Bezugnahme von Subjekt und Objekt voraussetzt“ (Zillien 2008, S. 165) – eine Verhältnisbestimmung, in der das Verhältnis zwischen Mensch und (technischem) Objekt „weder determiniert noch völlig offen ist“ (ebd., S. 177).

Ähnlich argumentiert auch der Soziologe Ian HUTCHBY und bezeichnet Affordanzen als “functional and relational aspects which frame, while not determining, the possibilities for agentic action in relation to an object” (Hutchby 2001, S. 444). Für HUTCHBY rekurriert Affordanz auf die “constraining, as well as enabling, materiality of artefacts” (ebd., S. 441). Affordanzen resultieren demnach sowohl aus dem Fundus menschlicher Praktiken, die die Nutzung und den Umgang mit Technik prägen, als auch aus der spezifischen *Materialität* technischer Objekte, die sich sowohl als *begrenzend* als auch *ermöglichtend* erweist. Materialität meint auch bei HUTCHBY nicht zwingend physische Materialität, sondern bezieht sich auch auf strukturelle Eigenschaften von Technik (vgl. ebd., S. 444 f.). Der Affordanzbegriff zeigt dabei im Streit konstruktivistischer und realistischer Technikvorstellungen, dass unterschiedliche Techniken mit unterschiedlichen ‚Angeboten‘ einhergehen, die die Art und Weise, wie sie ‚gelesen‘ oder interpretiert und daran anknüpfend genutzt werden, vorstrukturieren (vgl. ebd., S. 447). Unter der Voraussetzung, dass technischen Artefakten *keine intrinsische Bedeutung als Technik* zukommt und unter der Voraussetzung, dass das, was sie ‚sind‘ offen für Interpretation und Aneignung der Nutzenden ist, muss zunächst angenommen werden, dass technische Objekte prinzipiell *offene* Strukturen darstellen. Zugleich können sie nicht als neutrale *tabula rasa* betrachtet werden, denn sie prägen soziale Aneignung durch ‚Überzeugungsarbeit‘, nämlich die ‚persuasiveness of the account that is offered“ (ebd., S. 446). Im Affordanzkonzept

spiegelt sich daher auch die bereits aufgezeigte Deutung von Technik als „[b]egrenzte Vielfalt“ wider (Rohbeck 1993, S. 248; vgl. auch Abschnitt 2.3.1).

STRÜBING weist in seiner pragmatistischen Wissenschafts- und Technikforschung darauf hin, dass in einer strukturtheoretischen Deutung häufig davon ausgegangen worden sei, Menschen würden sich „im Zweifel mit den Vorgaben technischer Artefakte arrangieren und am Ende so handeln, wie im Systemmodell vorgedacht“ sei (Strübing 2005, S. 296). Techniknutzung ist aber, wie auch in der Konturierung von Technik als Möglichkeitsraum aufgezeigt (vgl. Abschnitt 2.3), „ein aktiver und kreativer Prozess“, tatsächlich werden also die in technische Objekte implementierten Regeln stets „situativ reinterpretiert und technische Artefakte auch im Nutzungsprozess vielfach umgestaltet bzw. umgenutzt“. Genau diese auch „handlungspraktischen Redefinitionen“ tragen dazu bei, die in Technik eingeschriebenen Strukturen, wenn auch in modifizierter Form, überhaupt „fortbestehen lassen“ zu können (Strübing 2005, S. 296).²¹ Diese Dynamik zwischen Vorstrukturierung und Handlungsmöglichkeiten deutet dabei auch auf ein weiteres Prinzip technikvermittelter Möglichkeitsräume, das ausgehend von der Sprachwissenschaft²² unter dem Begriff der *Performativität* diskutiert wurde.

Performativität

Performativität markiert das sich im Vollzug befindliche und bezieht sich auf den „Vollzug einer menschlichen Handlung“ (Wulf/Zirfas 2005, S. 8). Performative Akte „vollziehen das, was sie bedeuten und ihre Bedeutung liegt in ihrem Vollzug“ (ebd., S. 13). In Rekurs auf Judith BUTLER (2022) kann Performativität einerseits als *Zitation von Normen* gedeutet werden, durch die Macht erzeugt wird. Performativität bezieht sich hier auf die „normative und normierende“ Funktionsweise sozialer Praktiken, in deren „Rahmen diese Normierungen soviel Macht und Autorität gewinnen, dass sie zu Bildungsritualen

²¹ Die Entwicklung des Smartphones kann hier als Beispiel dienen. Während dieses in den 1990er Jahren schlicht als mobiles Telefon diente, handelt es sich bei den heutigen smarten Geräten um „portable Computer“ (Kaerlein 2018, S. 39), deren „Angebotscharakter“ sich inzwischen so verändert hat, dass das *Telefonieren* lediglich eine Nutzungsform von vielen darstellt (vgl. Pew Research Center 2015, S. 8). Vielmehr ist das Mobiltelefon als *Smartphone* inzwischen zu einem übergreifenden Kommunikations-, Informations-, Organisation- und Mediengestaltungsstool avanciert, auf dem u. a. zunehmend mehr Apps genutzt werden, über die immer zahlreichere Aufgaben wahrgenommen werden können (vgl. bitkom 2024, o. S.). Durch die im Zuge dieses Übergangs eingeläutete sukzessive *Umnutzung* der Geräte haben sich nutzerseitig auch die Anforderungen an die Geräte verändert, die nun wiederum entwicklerseitig zu berücksichtigen sind. Im Vordergrund stehen heute beispielsweise vor allem die Akkulaufzeit, Kameraqualität, Speicherplatz und Bildschirmgröße (vgl. Deloitte 2023, S. 8; vgl. hierzu auch Schulz-Schaeffer 2000, S. 226).

²² John AUSTIN verschiebt in seiner Sprechaktpphilosophie die Frage nach der Wahrheit von Aussagen auf die Frage nach der Wirkweise von Sprache (vgl. Austin 1972; zit. nach Wulf/Zirfas 2005, S. 8), Sprechen wird dabei als Handlungsform betrachtet. Bei der Aussage „Ich erkläre euch zu Mann und Frau“ geht es unter performativer Perspektive nicht um die Wahrheit der Aussage, sondern ob sie „glückt“ oder nicht (Wulf/Zirfas 2005, S. 9). In AUSTINS Sprachphilosophie bezeichnet Performativität „selbstreferentielle, deklarative und vorfabrizierte Äußerungen, die sich oft im Rahmen gesellschaftlicher Institutionen in der Form rituellen Handelns vollziehen“ (Wulf/Zirfas 2005, S. 9).

von Subjekten werden“ (Wulf/Zirfas 2005, S. 10). Dabei konstituiert sich die „Macht“ performativer Vollzüge durch „zitatförmige Wiederholungen“, die Festschreibungen bewirken, so etwa von Weiblichkeit und Männlichkeit (ebd., S. 11). Durch „wiederholende Aufrufung“ und „rituelle Inszenierungen“ werden Individuen zu bestimmten Verhaltensweisen diszipliniert, die ihnen folglich als „natürlich und unveränderbar“ erscheinen (ebd., S. 11). Dieser Akt der „Selbstdefinition lässt sich in diesem Kontext als ein performativer beschreiben, der körperlich erzeugt, was er benennt, und der ausführt, was er beschreibt“ (ebd., S. 11).

Performative Akte konservieren also einerseits gültige Normen und Regeln, sie können aber auch – und darin besteht wiederum die Ambivalenz des Performativitätsbegriffs – „transformativ und subversiv“ wirken (Wulf/Zirfas 2005, S. 13; vgl. auch Butler 2022, S. 246 f. sowie Allert/Asmussen 2017, S. 48). Auch Sybille KRÄMER zeigt mit Verweis auf Jacques DERRIDA und Judith BUTLER, dass performative Akte nicht nur der Bewahrung, sondern auch der Transformation von Machtverhältnissen dienen: In Auseinandersetzung mit der Sprachakttheorie von John AUSTIN und John SEARL hatte Jacques DERRIDA sprachliche Regelhaftigkeit auf die „Iterabilität sprachlicher Zeichen“ zurückgeführt (Krämer 2004b, S. 15 f.; vgl. Derrida 2020, S. 80), die dadurch von ihren Kontexten loslösbar werden. Aber die mit einem Kontextwechsel einhergehende „raum-zeitliche Verschiebung“ der Zeichen kann auch ihr „Anderswerden“ bewirken. Die „Pointe“ (Krämer 2001, S. 253) von DERRIDAS Iterabilitätsbegriff ist also, dass dieser stets auch „Alterität“ mit einschließt. Bei DERRIDA liegt in der Wiederholung (Iteration) eine Logik, die diese stets „mit der Andersheit verknüpft“, insofern es bei jeder Iteration (z. B. eines Begriffs, Wortes) zu Bedeutungsverschiebungen kommen kann (Derrida 2020, S. 80; vgl. auch Krämer 2004b, S. 16). So ziele Performativität darauf, dass die „*Wiederholung von Zeichenausdrücken in zeit- und raumversetzten neuen Kontexten [...] zugleich eine Veränderung der Zeichenbedeutung bewirkt*“ (Krämer 2004b, S. 16; H. i. O.).

Judith BUTLER entwickelt diesen Gedanken weiter (vgl. Butler 2022, S. 230–248), für sie entsteht das Transformationspotential der Wiederholung vor allem dann, wenn Wiederholung als „Inszenierung des Reproduzierten“ begriffen wird. Dann wird das „Zitieren [...] zum Rezitieren, die Signifikation zur Resignifikation, die Kontextualisierung zur Rekontextualisierung“. Menschliches Handeln beinhaltet dann nicht nur die Fähigkeit zum Zeichenhandeln, sondern zum „Transformieren und Uminterpretieren überkommener und übernommener Zeichen“, und das bedeutet, dass wir Zeichen, „indem wir sie wiederholen, zugleich auch [...] verändern“ können. Im Wiederaufführen bzw. dem Reinszenieren von Zeichen besteht KRÄMER zufolge für BUTLER die „entscheidende Form unserer Kreativität“ und zugleich ein Potential zur Widerständigkeit, durch das Taten „aufgehalten und unterbrochen“ werden können (Krämer 2001, S. 254). Performative Akte enthalten also „immer auch die Möglichkeit, im Vollzug selbst [...] die Normen und Regeln außer Kraft zu setzen, sie zu ironisieren, umzucodieren, die Fraglosigkeit in Frage zu stellen“ (Allert/Asmussen 2017, S. 48).

Im Sinne einer solchen Resignifikation durch Wiederaufführung enthält aber auch die digitale Technik performative Dimensionen. Gezeigt werden soll, dass digitale Technik

performativ ist, insofern sie sich durch ihre algorithmischen Dimensionen als eine Technik erweist, die sich beständig *im Vollzug* befindet. In diesem Kontext plädiert Hartmut WINKLER in seiner Abhandlung zum *Prozessieren* dafür, den Akt des Prozessierens – auch in Maschinen – anders zu denken als im Sinne eines Abarbeitens mechanischer Routinen. DERRIDA habe ja gezeigt, dass „Subjekt und Intention so gut wie keine Rolle spielen; Verschiebung, Veränderung, Transformation und Eingreifende (sic!) Veränderung wären insofern auf Vollzug, auf Praktiken allgemein zu beziehen, unabhängig davon, ob sie bewusst gesteuert oder von Bewusstsein begleitet sind“ (Winkler 2015, S. 69 f.). Daran anknüpfend kann argumentiert werden, dass Rekontextualisierung und algorithmisches ‚Wiederaufführen‘ von Daten in automatisierten Prozessen der algorithmischen Datenverarbeitung für den Menschen *neue Perspektiven* auf Daten eröffnen können. KRÄMER spricht dabei auch von der „generative[n] Kraft des Performativen“ (Krämer 2004b, S. 16), wie auch mit dem Abschnittstitel der später vorgenommenen Analyse – *Generativität* – zum Ausdruck gebracht werden soll (vgl. Abschnitt 5.2).

Die in diesem Abschnitt vorgestellte strukturelle Perspektive, das differenzierte Af-fordanzkonzept sowie das Konzept der Performativität bilden eine Grundlage für die anschließende Analyse der ambivalenten Grundstruktur der digitalen Technik und ihrer Bedeutung für die wissenschaftliche Erkenntnisarbeit: Einerseits *strukturiert, invisibilisiert* und *routinisiert* digitale Technik Prozesse der Wissensgenese. Aufgrund der *interpretativen Flexibilität* ihrer universellen technischen Basis und ihrer algorithmischen Performativität kommen ihr andererseits aber auch *generative* und *erkenntniserweiternde* Eigenschaften zu. Angenommen werden muss, dass digitale Technik Erkenntniswege zwar vorstrukturiert, dabei aber deutungsoffen bleibt. Digitale Technik lässt sich daher auch als *begrenzte Vielfalt* bzw. *strukturierter Möglichkeitsraum* deuten (vgl. Abschnitt 2.3.2).

Der Digitalcomputer, dessen Architektur auf dem Denkmodell der Turingmaschine auf-setzt, bildet den technologischen und materiellen Kern dessen, was in der vorliegenden Studie als *digitale Technik* bezeichnet wird. In der heutigen Vorstellung steht der Terminus *Digitalisierung* bzw. auch *digitaler Wandel* untrennbar mit der Entwicklung des Computers als Rechenmaschine in Zusammenhang, steht also „für alles, was mit Computern zusammenhängt“ (Jannidis 2017, S. 59) bzw. sich mit der „technischen Funktionsweise rechnerbasierter Medien“ (Reichert 2017, S. 19) in Verbindung bringen lässt. Digitale Computertechnik wiederum basiert auf der Objektivierung und Materialisierung formalisierter Routinen, also der formalen (algorithmischen) und physischen (u. a. in Schaltkreisen materialisierten) Explizierung regelgeleiteter Operationen (vgl. Viehhauser 2018, S. 173), die sowohl beim Erfassen und ‚Übersetzen‘ von Phänomenen der Lebens-welt (vgl. Schnell/Dunger 2019) in digitale Repräsentationsformate als auch bei deren Verarbeitung in der Rechenmaschine aktiv sind. Zugleich hat es mit dem Computer in der Geschichte der Technik noch nie ein technisches Artefakt gegeben, dessen „Nutzen und Nutzung so wenig in die Technikgenese eingeschrieben ist“ (Kerres 2020, S. 20), das also in Bezug auf das durch sie ermöglichte Spektrum menschlicher Handlungsoptionen so *unterdeterminiert* erscheint. In Auseinandersetzung mit den strukturprägenden Eigen-

schaften digitaler Technik und den durch sie eröffneten vielfältigen Handlungsmöglichkeiten entstehen sowohl Bildungsnotwendigkeiten als auch Bildungsmöglichkeiten, die im weiteren Verlauf der vorliegenden Studie im Rückgriff auf die Bedeutung digitaler Technik in Prozessen wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns erörtert werden.

Im folgenden Abschnitt 3 wird zunächst die Ambivalenz digitaler Technik zwischen Struktur und Handlungsspielraum genauer konturiert. In Anknüpfung an die in den Abschnitten zuvor analysierte ambivalente Konstitution des Technischen zwischen vorstrukturierenden und ermöglichen, aber auch ‚einsehbaren‘ und ‚uneinsehbaren‘ Dimensionen, soll im Folgenden skizziert werden, inwiefern sich diese Spannungsfelder in der digitalen Technik fortsetzen. Hier zeigt sich die Ambivalenz digitaler Technik sowohl im Kontext ihrer *Objektstrukturen*, ihrer *algorithmischen Vollzüge* als auch in ihrer Ausprägung als *Interface*. Als Einführung in die Diskussion jener digitaltechnischen Spannungsfelder dient jedoch zunächst die Auseinandersetzung mit der ‚Maschinenmetapher‘ und damit verknüpfter Techniktheorien.

3. Zur Ambivalenz digitaler Technik

3.1 Maschinen im Spannungsfeld von Struktur und Handlungsspielraum

Zeitgenössische Technikdiskurse, darunter auch die um digitale Technik, wurden und werden wesentlich von der *Maschinenmetapher* geprägt, die bis heute menschlichen Vorstellungen von Technik als Leitbild dient – Maschine gedacht als artifizielles Gegenüber des Menschen, das ihm nicht nur körperliche und geistige Aufgaben abnimmt, sondern sich immer stärker in menschliche Lebenszusammenhänge einschreibt. Unter dem Begriff der Mensch-Maschine-Interaktion werden die unterschiedlichen Denkfiguren dieses Verhältnisses zwischen Mensch und Maschine schon lange diskutiert (vgl. Liggieri/Müller 2019). Vorstellungen reichen hier von der dystopischen Angst, Maschinen könnten Menschen kontrollieren, bis hin zur utopischen Idee, die ‚Künstliche Intelligenz‘ der Maschinen sorge dafür, dass der Mensch sich künftig – von den Routinen sowohl geistiger als auch körperlicher Arbeit befreit – endlich seinen kreativ-schöpferischen Potentiaien widmen könne (vgl. u. a. Heßler 2019, S. 155). Auch für das Nachdenken über die digitale Technik ist die Maschinenmetapher erhellend, daher dienen an dieser Stelle einige einführende Reflexionen zum Problem geschlossener und offener Maschinen als Hinführung zu dem, was im Anschluss als der ambivalente Charakter der digitalen Technik diskutiert werden soll.

Im technikphilosophisch geprägten Diskurs dient der Begriff der Maschine auch zur Markierung eines technologischen Paradigmenwechsels, der klassische und neuere Technikvorstellungen voneinander abgrenzt, wie beispielsweise Gotthard GÜNTHER dies diskutiert hat (vgl. Günther 1963). GÜNTHER beschreibt einen gesellschaftlichen Transformationsprozess, an dessen Ende eine unter den Bedingungen der „zweiten Maschine“ formierte Gesellschaft steht. Der von ihm als neu diagnostizierte Maschinentyp unterscheidet sich unter den Vorzeichen der kybernetischen Theorien vom klassisch-mechanischen Maschinenmodell. Die klassische „erste“ Maschine reichte vom „Werkzeug und von den elementaren Mechanismen über die halbautomatische bis zur vollautomatischen Maschine“ (Hörl 2008, S. 634). Ihr „Prototyp“ war jedoch noch an den Mechanismen des menschlichen Körpers orientiert und gründete auf mechanistischen Technikvorstellungen und klassischen dualistisch geprägten Denkfiguren, in denen Denken und Sein, Form und Materie, Subjekt und Objekt klar voneinander separierbare Entitäten darstellen (ebd., S. 634). Den neuen Maschinentyp bezeichnete GÜNTHER dagegen als „trans-klassische“ Maschine (Günther 1963, S. 183).

Während die klassisch mechanische Maschine noch stark von der Vorstellung eines vom Menschen steuerbaren Werkzeugs geprägt war, verselbstständigt sich das Werkzeug im neuen Maschinentypus und wird ein „autonom gewordenes Werkzeug“. Dieser Übergang vollzieht sich GÜNTHER zufolge auch sprachlich, denn während das Werkzeug „gehendhabt“ wird, wird die Maschine „bedient“ (Günther 1963, S. 182). Während die klassische Maschine noch den menschlichen Arm zum Vorbild hat, bildet das menschliche Gehirn das Vorbild der transklassischen Maschine (vgl. ebd., S. 184). Und während die

klassische Maschine nach dem Prinzip der beweglichen Teile der „archimedischen“ Maschine funktioniert, erfolgt die „arbeitsleistende Bewegung“ der transklassischen Maschine durch „Atome, Elektronen und magnetische Felder“ (Günther 1963, S. 183). Geprägt ist die Entwicklungsgeschichte hin zur transklassischen Maschine von einer immer stärker „vom Menschen unabhängige Spontaneität“ (ebd., S. 182) der Maschinen. Versinnbildlicht wird dies für GÜNTHER im Bild des Roboters als „mechanische[r] Arbeiter“, der auf einen neuen Maschinentyp hinweist, „dessen generelle Konstruktionsidee sich radikal von den aus dem elementaren Werkzeug entwickelten Apparaturen“ unterscheidet. Im Wesentlichen zeichnet sich die transklassische Maschine dadurch aus, dass sie nicht mehr selbst *Arbeit verrichtet*, sondern *Informationen verarbeitet* bzw. Steuerungsleistungen nach dem Modell des menschlichen Gehirns vollbringt (vgl. ebd., S. 184). Als solche zielt sie darauf ab, die Arbeit der klassischen Maschine zu *steuern*, indem sie Daten aus der Umwelt aufnimmt, sie als Informationen verarbeitet und als „Steuerungsimpulse“ an die klassische Maschine weitergibt. Die neue Maschine ist also im Grunde eine Steuerungstechnik (ebd., S. 186). GÜNTHER bezeichnet sie daher auch als *kybernetische Maschine* und weist damit auf den griechischen Ursprung des Terminus in der Steuermannskunst: „Eine kybernetische [...] Maschine ist nämlich eine solche, die nicht mehr physische Arbeitsvorgänge produziert [...], sondern die solche Arbeitsvorgänge dirigiert und ‚kritisch‘ steuert“ (ebd., S. 184). Für GÜNTHER war die zweite kybernetische Maschine ein noch nicht verwirklichtes „technisches Ideal, dessen progressive Realisierung noch in sehr weiter Ferne steht“ (ebd., S. 186). Vor dem Hintergrund zunehmend leistungsstärkerer Rechenmaschinen und Machine-Learning-Verfahren, die auch die Frage nach der *Künstlichen Intelligenz* wieder als realisierbare Option vorstellig werden lassen, könnte sie heute aber bereits als Tatsache gelten. Als Problem fasst der Philosoph Yuk HUI in diesem Zusammenhang, dass gerade die neueren Ausprägungen digitaler Technik oftmals noch aus dem Blickwinkel der klassischen, mechanischen Maschine und damit verbundener *mechanistischer Erkenntnistheorien* und Denkfiguren reflektiert werden, die u. a. auf linearen Vorstellungen von Kausalität basieren. Schwerlich einordnen lassen sich darin jedoch aktuelle Ausprägungen computerbasierter Techniken, die auf Prinzipien der Rekursivität, Kontingenz und des Feedbacks beruhen (vgl. Hui 2023, S. 5; vgl. auch Hui 2019), worauf in Abschnitt 3.3 noch ausführlicher eingegangen wird.

Im Zuge einer späteren techniktheoretischen bzw. technikphilosophischen Auseinandersetzung mit kybernetischen Modellen etablierten sich zwei unterschiedliche ‚transklassische‘ Techniktheorien, die sich zwar von den klassischen dualistischen Beschreibungs sprachen gelöst hatten, die das Verhältnis zwischen Mensch und Maschine bzw. Mensch und Technik jedoch unterschiedlich entwarfen. Auf der einen Seite entwickelte sich eine stark an der Kybernetik orientierte *analytisch-kombinatorische* bzw. *informationstheoretische* Auffassung, die Maschine als „Vergegenständlichung symbolischer oder logischer Ausdrücke“ verstand. Auf der anderen Seite entwickelte sich eine ethnologisch bzw. *anthropologisch* orientierte Techniktheorie, die das Technische ganzheitlich in den Blick zu nehmen suchte (Schmidgen 2001, S. 266).

Erstere Theorie findet ihren Ausdruck in kybernetischen Konzeptionen der Maschine bzw. in kognitionswissenschaftlichen Ansätzen zur „Erklärung der technischen Aktivität als Wissen“ (Schmidgen 2001, S. 267). Auf der zweiten Theorie basieren heute soziologische und ethnologische Ansätze der Mensch-Maschine- bzw. Mensch-Technik-Interaktion, wie sie insbesondere im Rahmen der Wissenschafts- und Technikforschung formuliert wurden (vgl. Knorr Cetina 1984; Latour 1987). Zwischen der kybernetischen und anthropologischen Technikauffassung existieren Henning SCHMIDGEN zufolge nur wenige Vermittlungsversuche. Einen sieht er jedoch in der Techniktheorie des französischen Philosophen Gilbert SIMONDON und dessen Verortung technischer Objekte in den Zusammenhang „materieller Kulturen“ (Schmidgen 2001, S. 268). Auf SIMONDONS elaborierte Techniktheorie kann im Rahmen dieser Studie nicht umfänglich eingegangen werden, im Folgenden soll aber seine Idee der *offenen Maschine* mit Blick auf mögliche Anknüpfungspunkte für eine Konzeption der digitalen Technik kurзорisch in den Blick genommen werden. Auf die Positionen GÜNTHERS und seine Idee der transklassischen Maschine wird dagegen im Zusammenhang der Auseinandersetzung mit den algorithmischen Dimensionen digitaler Technik noch einmal zurückzukommen sein (vgl. Abschnitt 3.3).

Einführend kann für die technikphilosophische Perspektive SIMONDONS erwähnt werden, dass für dessen Neukonzeption des Technikbegriffs insbesondere die Auseinandersetzung mit der Kybernetik von zentraler Bedeutung war. Die seinerzeit beginnende Automatisierung industrieller Produktion in den 1950er Jahren führte zu Debatten um das Mensch-Maschine-Verhältnis, die Idee der Automatisierung sowie die Bedeutung menschlicher und maschineller Arbeit, die SIMONDONS Technikbegriff prägen, wobei gleich er sich gegenüber der kybernetischen Debatte neu positionierte und sich beispielsweise *gerade nicht* auf die Idee des Automaten kaprizierte (vgl. Heßler 2016, S. 6 f.). Vor dem Hintergrund der Entwicklung der Informationstheorie fordert er vielmehr eine *offene Technik*, deren Entwicklungsziel *nicht im vollkommenen Automaten* bestehen sollte, sondern auf der Einsicht basiert, dass die Funktionsweise einer Maschine sich gerade durch „einen gewissen Unbestimmtheitsspielraum“ auszeichnet, der es einer Maschine erlaubt, *empfänglich für Information* zu sein (Simondon 2012, S. 11). Aufgrund ihrer Informati onsempfänglichkeit zeichnet sich eine vollkommene Maschine im Sinne SIMONDONS also durch einen gewissen Grad an Unbestimmtheit aus. Die „Götzendienner der Maschine“ sähen dagegen den „Perfektionsgrad einer Maschine als direkt proportional zum Grad ihres Automatismus“, durch dessen permanente Steigerung es schließlich gelänge, „eine Maschine aller Maschinen zu schaffen“ (ebd., S. 10 f.).

Vorstellungen vom *Automatismus*, wie sie SIMONDON aus dem Blickwinkel der noch ‚vordigitalen‘ 1950er Jahre des letzten Jahrhunderts insbesondere in den industriellen Infrastrukturen verortet sieht, haben dem Autor zufolge keine wahrhaft *technische* Bedeutung, ja, der industrielle Automat stelle sogar einen „recht geringen Grad an technischer Perfektion dar“, denn um eine „Maschine zu automatisieren, müssen viele Funktionsmöglichkeiten und viele mögliche Gebrauchsweisen geopfert werden“ (Simondon 2012, S. 11). Die Entwicklungsgeschichte von Maschinen zielt für SIMONDON nicht auf das „Schreckgespenst eines vollkommenen Automatismus“, sondern gerade umgekehrt auf

die „Kristallisation seiner wesentlichen Unbestimmtheit und die Geburt der offenen Maschine“ (Hörl 2008, S. 642). Das Eigentliche der Technik, deren *Technizität*, liegt SIMONDON zufolge also nicht in der Automation, sondern in den Unbestimmtheitsräumen, die technische Objekte im Zuge ihrer Genese entwickeln (vgl. Simondon 2012, S. 11). Technische Objekte mit einem hohen Grad an Technizität sind dementsprechend nach *innen* und *außen* offene Entitäten. Auch die „modernen Rechenmaschinen“ sind SIMONDON zufolge keine „reinen Automaten“, sondern „technische Wesen, die über ihre Additionsautomatismen – oder ihre Entscheidungsautomatismen, die über elementare Kippstufen funktionieren – sehr weitgehende Fähigkeiten zur Umschaltung zwischen den Schaltkreisen besitzen“. Dies ermöglicht es wiederum, „die Funktionsweise der Maschine zu kodieren, indem der Unbestimmtheitsspielraum eingeschränkt wird“ (ebd., S. 11), man könnte also sagen, dass die offene Maschine eine programmierbare ist. Programmierung schränkt ihren Unbestimmtheitsspielraum zwar ein, sorgt jedoch auch für *prinzipielle* Gestaltungs- und Vernetzungsmöglichkeiten innerhalb der Maschine. Nur durch einen prinzipiell vorhandenen Unbestimmtheitsspielraum wird ein genuines Handeln des Menschen mit Maschinen möglich, Maschinen müssen entsprechend „veränderbar sein, mit den Menschen und untereinander *kommunizieren*“ können (Heßler 2016, S. 19; H. i. O.).

Eine zentrale Vorstellung in SIMONDONS Technikkonzeption und Konzeption der offenen Maschine ist die der Vernetzbarkeit und Relationalität technischer Objekte zueinander. Diese entwickelt sich in einem Prozess, den SIMONDON als *Konkretisierung* bezeichnet. Technische Objekte sind für SIMONDON keine ‚fertigen, sondern stets im Werden befindliche Entitäten (vgl. Heßler 2016, S. 12). Wichtig ist ihm daher der Blick auf den technischen Geneseprozess (vgl. Simondon 2012, S. 14 und 21), er nimmt damit eine evolutionäre, organische Perspektive auf den Technikbegriff ein. Von Bedeutung auch für sein Konzept der offenen Maschine ist SIMONDONS Unterscheidung *abstrakter* und *konkreter* technischer Objekte. Abstrakte Objekte sind geschlossene Systeme (vgl. ebd., S. 21), die in Form isolierter Teilfunktionen existieren. Das *konkrete* technische Objekt ist demgegenüber *offen*, weil in den konkret gewordenen technischen Objekten bereits „jede Struktur multifunktional und überdeterminiert ist“ (ebd., S. 243), diese also nicht länger aus „isolierten Teilfunktionen“ bestehen.

Konkretisierung zeichnet sich also zunächst dadurch aus, dass Elemente²³ eines technischen Objekts dazu übergehen können, nicht nur eine, sondern mehrere Funktionen zu erfüllen, was SIMONDON auch als „Konvergenz von Funktionen“ (ebd., S. 22) bezeichnet. Zum anderen zeichnet sich Konkretisierung auch dadurch aus, dass die in einem technischen Objekt enthaltenen technischen Elementen zunehmend voneinander abhängen, was SIMONDON als die „innere Resonanz“ (Simondon 2012, S. 86) der Elemente bezeichnet (vgl. Barthélémy 2011, S. 97; Heßler 2016, S. 13). Zugleich entwickeln technische Objekte aber auch eine Relation zu ihrer äußeren (technischen wie auch natürlich-

²³ Als technische Elemente bezeichnet SIMONDON dabei die inneren Elemente der technischen Objekte, z. B. Pleuelstangen und Röhren, die in Motoren und Apparaten enthalten sind (vgl. Schmidgen 2012, S. 124).

geographischen) Umwelt, mit der sie ein „assoziiertes Milieu“ bilden, in dem die technischen Objekte und Elemente durch „rekursive Kausalität“ (Simondon 2012, S. 52 f.) miteinander verbunden sind. Beim Milieu handelt es sich um eine „funktionale Anordnung und Regelung“ natürlicher Elemente, in die technische Objekte eingefasst sind, wie SIMONDON am Beispiel der Kausalitätsbeziehung zwischen Guimbal-Turbine und ihrer Umgebung aus Wasser oder Öl beschreibt (ebd., S. 53).²⁴ Die rekursive Kausalität der technischen Objekte in ihrem assoziierten Milieu erzeugt eine innere Kohärenz der Elemente zueinander, die technische Objekte zu *Individuen* werden lässt, SIMONDON bezeichnet diesen Prozess daher als „Individualisation“ (ebd., S. 56). Diese technischen Individuen schließen sich schließlich zu technischen Ensembles zusammen, darunter ist die äußere Umgebung der Objekte zu verstehen, in die technische Individuen verortet sind, wie Fabriken und Laboratorien (vgl. Schmidgen 2012, S. 124).

Konkretisierung beschreibt also die Entwicklung technischer Objekte als eine Entwicklung innerer und äußerer Relationen, die sich in der inneren Resonanz der technischen Elemente zueinander äußert, aber auch im äußeren Zusammenschluss der technischen Objekte zu Ensembles sowie in ihrem Verbundensein mit einem assoziierten Milieu. Die *Technizität* technischer Objekte zeichnet sich dabei just dadurch aus, dass sie eben nicht länger als abstrakte, isolierte Funktionen existieren, sondern in Relation zueinander, Relationen, die sich gleich einem evolutionären Prozess stets weiterentwickeln (vgl. Heßler 2016, S. 14). Technisches Denken vollzieht sich dabei für SIMONDON durch „Zerlegung des Gesamtphenomens in elementare Funktionsweisen“ sowie im Entwurf der technischen Funktionsweisen eines Ensembles als „Verkettung elementarer Prozesse“ (Simondon 2012, S. 163). Die „technische Welt“, in der sich technische Objekte in immer komplexeren Verkettungen miteinander verbinden, erlaubt dabei eine „unendliche Disponibilität für Zusammenstellungen und Zusammenschlüsse“ (ebd., S. 227; vgl. auch Mersch 2016, S. 44) – sie erlaubt in der Vorstellung SIMONDONS also unerschöpfliche Möglichkeiten des ‚Remixens‘ und damit der Neuschöpfung technischer Operationsketten und Funktionsweisen.

Ermöglicht werden technische Zusammenschlüsse und Relationen dabei nicht durch die zunehmende Radikalisierung von Automatismen, sondern durch die Unbestimmtheitsräume in den technischen Objekten, die diese *informationsempfänglich* machen (vgl. Simondon 2012, S. 11). Was SIMONDON dabei jenen Vorstellungen vollständiger Automaten entgegenseetzt, so HEBLER, „liest sich wie das Programm alternativer Technologien oder alternativer Designentwürfe seit den 1970er Jahren“, die wie SIMONDON „die Austauschbarkeit von Teilen, die Reparierbarkeit, die Veränderbarkeit von Dingen forderten“

²⁴ So beschreibt SIMONDON: „Dieses Ensemble wird durch rekursive Wärmeaustauschprozesse, die in ihm stattfinden, konkretisiert und individualisiert: Je schneller die Turbine sich dreht, umso mehr Wärme gibt der Generator durch den Joule-Effekt und durch magnetische Verluste ab; aber umso schneller die Turbine sich dreht, desto mehr nimmt die Turbulenz des Öls rund um den Rotor und des Wassers rund um das Gehäuse zu, was die Wärmeaustauschprozesse zwischen Rotor und Wasser beschleunigt. Dieses assoziierte Milieu ist die Bedingung für die Existenz des erfundenen technischen Objekts“ (Simondon 2012, S. 53).

(Heßler 2016, S. 19). Nur solche offenen Maschinen, die „nicht ‚abgeschlossen‘ in die Fabrik oder den Konsumalltag gelangen, sondern Teil eines Netzes seien, in dem sie veränderbar bleiben“ (ebd., S. 19), ermöglichen schließlich den von SIMONDON geforderten *mündigen Umgang* mit technischen Objekten. Mit der Unterscheidung eines mündigen und unmündigen Umgangs mit der Technik differenziert SIMONDON zwei Formen technischen Handelns, nämlich das *entfremdete* technische Handeln des ‚Arbeiters‘ von der echten *technischen Aktivität*, die auf der Kenntnis des Wesens der technischen Objekte beruht. Ein solches genuin technisches Handeln umfasst „nicht allein die Benutzung der Maschine [...], sondern auch einen gewissen Koeffizienten der Aufmerksamkeit für die technische Funktionsweise, Wartung, Justierung, Verbesserung der Maschine, in der die Aktivität der Erfindung und der Konstruktion weitergeführt wird“ (Simondon 2012, S. 231).

Die größte *Entfremdung* im Umgang mit der Technik produzieren dabei solche technischen Objekte, „die für unwissende Benutzer bestimmt sind“ (Simondon 2012, S. 231), die nur „für kurze Zeit neuwertig“ und damit zur bloßen Modeerscheinung werden. Technik als Modeerscheinung setzt eine geschlossene Technikkonzeption voraus, eine die aufgrund fehlender Eingriffs- und Ergänzungsmöglichkeiten der Obsoleszenz unterworfen ist und die zudem durch das „Versiegeln der anfälligen Organe“ (ebd., S. 231) nachfolgende Eingriffsmöglichkeiten durch die Nutzenden verhindert. Justierbarkeit wird für SIMONDON dagegen zur Signatur der offenen Maschine, denn diese ist ja gerade nicht „vom Moment ihrer Konstruktion an ein für alle Mal ohne die Notwendigkeit der Nachbesserungen, der Reparaturen und der Justierungen in die Existenz geworfen“. Dem Fabrikarbeiter, der die Maschine bedient, bleibt die Möglichkeit des Justierens jedoch verwehrt, ja untersagt. Die Maschine bleibt für ihn verschlossen, er kann sich an ihrem weiteren „Werden“ nicht beteiligen (ebd., S. 230 f.). Und genau dieser „Bruch“ zwischen Konstruktions- und Verwendungszusammenhang technischer Objekte führt SIMONDON zu folge zu einer, auch kulturell verhafteten, „Entwertung des technischen Objekts“ (ebd., S. 232). Diese Einschätzung erinnert auch an EULERS Diagnose einer bildungsbürgerlichen Abwertung der Technik in die „Sphäre bloßer Mittel“, in der ihr Bildungscharakter verkannt wird (Euler 1999, S. 220 f.). Auch SIMONDON stellt eine noch fehlende „technische Einstellung“ (Simondon 2011, S. 73) fest, die sich in einem unmündigen Umgang (s. o.) mit technischen Objekten äußert. Die Möglichkeit der Entwicklung von Mündigkeit bzw. einer technischen Einstellung knüpft SIMONDON aber zugleich an die Struktur der technischen Objekte selbst, die dafür *offen* sein müssen (vgl. ebd., S. 90; Heßler 2016, S. 20).

In seinem Aufsatz aus den 1970er Jahren *Die technische Einstellung* konkretisiert SIMONDON (2011) seine Idee der offenen und modifizierbaren Maschine. Im Blick hat er dabei die Frage, inwiefern die in der Industrialisierung sich vollziehende Dissozierung zwischen technischer Erfindung und Konstruktion auf der einen Seite und den Nutzenden und Bedienenden auf der anderen Seite zugunsten einer mündigen Einstellung der Nutzenden gegenüber der Technik überwunden werden könne. Wie einst im Handwerk müsse dafür eigentlich dieselbe Person „*Erfinder, Konstrukteur und Bediener*“ sein, was

jedoch auch SIMONDON zufolge ein unzeitgemäßes Ideal darstellt (Simondon 2011, S. 83 f.). Vielmehr könne gerade im „Inneren der industriellen Organisation“, in der die taylorisierte Fragmentierung und Rationalisierung auf die Spitze getrieben wird, nach Möglichkeiten der Überwindung des Gegensatzes zwischen Handwerk und Industrie gesucht werden (ebd., S. 84). Denn „Standardisierung und Normierung“ (ebd., S. 91) von Produktionsbedingungen erlaube „normierte Vernetzung und Distribution“ (ebd., S. 87), so beispielsweise durch die „Produktion von vollkommen ähnlichen Einzelteilen“ (ebd., S. 85). Gerade hier erweist sich SIMONDONS Denken für Martina HEßLER als besonders originell, „da er nicht, wie andere, rückblickend und nostalgisch auf die handwerkliche Tradition rekurrierte und sie der industriellen Produktion entgegenstellte, sondern gerade in der ‚industriellen Vertiefung der Produktion‘, in der technischen Logik, eben in der Standardisierung und Normierung, in der Modularisierung“ (Heßler 2016, S. 22) die Möglichkeit für eine Neugestaltung des Verhältnisses des Menschen zur Technik sah.

So wird für SIMONDON das Justieren und Modifizieren, also der individuell-handelnde Zugang zur Technik, vor allem in *modular* aufgebauten, *normierten* und *vernetzten* technischen Strukturen möglich. Je standardisierter technische Infrastrukturen erscheinen, desto durchlässiger zeigen sie sich auch für den *gestaltenden* Zugriff durch die Nutzenden, die im Sinne SIMONDONS durch „Justieren“ in der Lage sind, die „Funktion der Erfindung und der Konstruktion“ (Simondon 2012, S. 231) fortzusetzen. Für SIMONDON muss ein offenes technisches Objekt eine „netzförmige Struktur aufweisen“. Statt „geschlossen zu sein“ sollte es Teile aufweisen, „die so konstruiert sind, dass sie sich so weit wie nur möglich der Unzerstörbarkeit annähern, wohingegen sich in anderen Teilen die feinste Anpassung an den Gebrauch, der Verschleiß, der mögliche Bruch im Fall eines Zusammenpralls oder auch die Fehlfunktion konzentrieren“. Dadurch entstehe ein „offenes Objekt, welches ergänzt, verbessert, in einem Zustand der beständigen Aktualität, im Jetzt gehalten [...] werden kann“. Das offene technische Objekt besteht für SIMONDON aus „zwei Wirklichkeitsschichten“: aus einem Kernbereich, der „so stabil und dauerhaft ist wie möglich“, sowie aus einer weiteren Schicht, die „beständig ersetzt, ausgetauscht, verjüngt werden kann, weil sie aus einander vollständig ähnlichen, unpersönlichen Elementen gemacht ist, die in Unmengen von der Industrie hergestellt und von allen Ersatzteilnetzen verbreitet werden“ (Simondon 2011, S. 91). Um aktuell zu bleiben, muss das Objekt über „Funktionsschwellen“ verfügen, die erkannt, gemessen, normiert werden, damit es in beständige und absichtlich zerbrechliche, in Sollbruchteile, die sich austauschen lassen, unterteilt werden kann“ (ebd., S. 91; H. i. O.).

HEßLER fragt in ihrem Aufsatz zur technikhistorischen Bedeutung von SIMONDONS Techniktheorie, welche Einsichten diese für den Diskurs zum digitalen Wandel und zur Digitalisierung bereithält. Genauer stelle sich aus technikhistorischer Perspektive die Frage, ob SIMONDONS Idee der offenen Maschine „zur Beschreibung der technischen Kultur des 20. Jahrhunderts (und auch der Gegenwart)“ geeignet ist oder es sich dabei vielmehr um ein „unerfülltes Postulat“ handelt. Für SIMONDON, so HEßLER, bleibt die offene Maschine eine Aufgabe; die Autorin geht davon aus, dass sein Entwurf eher als „Kritik der technischen Kultur des 20. Jahrhunderts“ zu betrachten ist denn als Beschreibung

heutiger technischer Wirklichkeit (Heßler 2016, S. 24). Auch wenn die Programmierbarkeit und Multifunktionalität digitaler Technik diese eigentlich als offene Maschine markieren, zeichne sich der alltägliche Umgang mit ihr vorwiegend als ein Bedienen von *Blackboxes* aus (vgl. ebd., S. 18 und 25), bei dem der Mensch mitnichten, wie von SIMONDON gefordert, als „Dirigent“ oder „Organisator“ (Simondon 2012, S. 11) der Maschine agiert, sondern „ohne Verständnis der Funktionsweisen“ auf der „Ebene der Gebrauchsweisen“ verbleibt (Heßler 2016, S. 25). Und so fungieren die (digitalen) Alltagstechniken eher als *geschlossene Maschinen*, die „Geld, Fahrkarten, Flugtickets, Kleider etc. auf Knopfdruck“ liefern. SIMONDON hätte, so resümiert HEßLER, seine Idee der offenen Maschine heute eher im Rahmen alternativer Bewegungen bzw. Gegenbewegungen zur Mainstream-Technik wiedergefunden, so beispielsweise in der Open-Source- oder Do-it-yourself-Bewegung (ebd., S. 24).

Die Medienwissenschaftlerin Mercedes BUNZ argumentiert dagegen mit SIMONDON, dass die Deutung der Technikgeschichte als Entwicklung geschlossener Strukturen, die dem Menschen zwar Arbeit abnehmen, ihn dabei aber geistig verarmen lassen, nur die „halbe Geschichte“ erzähle, denn selbst „wenn die Maschinen unsere Handlungen in einem gewissen Ausmaß fixieren, müssen sie doch offen für Veränderungen sein, sonst gingen sie irgendwann kaputt oder wären bald hoffnungslos veraltet“ (Bunz 2017, S. 81). Die fixen Strukturen der Maschine konfrontieren uns zwar mit „einer gewissen Logik, aber diese Logik ist kein Alleinherrcher oder Diktator. Maschinen haben keine Interessen, sie haben keinen Willen“ und sind daher in gewisser Weise immer „unbestimmt“. Diese *prinzipielle* Offenheit und Unbestimmtheit technischer Objekte, die SIMONDON darin verwirklicht sieht, dass sie für *Informationen* empfänglich und damit grundsätzlich aktualisierbar und vernetzbar sind, sorgt dafür, dass Apparate, Prozesse und Programme „angepasst und in ganz unterschiedlichen Situationen eingesetzt werden“ können. Dabei müssen Apparate auch deshalb als offen gelten, da sie sonst überhaupt nicht „angewandt“ werden könnten, durch ihre Anwendung sind sie aber auch stets „offen für Veränderungen“. BUNZ verweist damit im Anschluss an SIMONDON auf das „emanzipatorische Potenzial“, das auch in der digitalen Technik auszumachen ist. „Digitalisierung“ müsse nicht zwangsläufig etwas sein, das Menschen „zustößt“, sondern ist ein Prozess, der prinzipiell gestaltbar bleibt (ebd., S. 81 f.).

Für SIMONDON eröffnen Rationalisierungsprozesse der Normierung, Standardisierung und Modularisierung sowie die Informationsempfänglichkeit der *offenen Maschine* Freiheiten und Handlungsmöglichkeiten für Nutzende, denn jene Formen der Rationalisierung erlauben, wie oben skizziert, nahezu unerschöpfliche Möglichkeiten der Vernetzung, des *Remixens* und damit der Neuschöpfung immer neuer technischer Operationsketten (vgl. Mersch 2016, S. 44). Einen ähnlichen Zusammenhang von *Standardisierung* und *Offenheit*, *Rationalisierung* und *Möglichkeitsräumen* bzw. weitergefasst zwischen *Allgemeinem* und *Besonderem* hat auch Andreas RECKWITZ in seiner soziologischen Reflexion zum Strukturwandel der Moderne aufgezeigt. RECKWITZ zeigt, dass die Geschichte der Moderne von einer „Doppelstruktur“ geprägt ist, die sowohl Rationalisierungs- als auch Singularisierungsprozesse aufweist (Reckwitz 2017, S. 18), die jedoch im

Laufe ihrer Entwicklung einen Strukturwandel erfahren haben. In der noch „industriellen Moderne“ (Reckwitz 2017, S. 226) stellten die Paradigmen der Dampfmaschine und Eisenbahn sowie der industriellen Schwerindustrie und des Automobils noch die „Techniken der Mechanisierung, der effizienten Arbeitsteilung, der Energiegewinnung und der Standardisierung“ in den Vordergrund und markierten dadurch die Vorrangstellung der *Rationalisierung*. Ende des 20. Jahrhunderts rückte dagegen die Logik der „Rationalisierung“ und „Standardisierung“ zugunsten einer der „Kulturalisierung“ sowie der „Fabrikation von Singularitäten“ in den Hintergrund (ebd., S. 227).

Von entscheidender Bedeutung für diesen Wandel war vor allem der *digitale Wandel*, der für RECKWITZ vor allem durch Digitalisierung, Computerisierung und Vernetzung gekennzeichnet ist (vgl. Reckwitz 2017, S. 226). Die digitale Technik vermag schließlich das zu befördern, was technische Rationalisierung „zuvor zu eliminieren trachtete“, nämlich „Einzigartigkeit“ und „Kultur“ (ebd., S. 227). Kulturtreibendes Moment wird dabei die „Fabrikation von Kulturformaten“, die wiederum individuelle Artikulationsmöglichkeiten erlauben, so beispielsweise in „Texten und Bildern, Videos und Filmen, phatischen Sprechakten und Spielen“. Als „Kulturmashine“ befördert digitale Technik dabei die „fortdauernde Fabrikation von Subjekten, Objekten und Kollektiven als einzigartige“ (ebd., S. 227).

Doch – und das ist die Krux dieses Strukturwandels – auch die „Fabrikation von Singularitäten“ (Reckwitz 2017, S. 227) basiert weiterhin auf dem *Paradigma des Allgemeinen*, welches durch die digitale Technik sogar „radikalisiert“ wird. Gerade die „Radikalisierung der Logik des Allgemeinen der digital-algorithmischen Welt“ ermöglicht dabei „paradoxerweise eine Singularisierung von Subjekten, Objekten und Kollektiven“ (ebd., S. 229). Für RECKWITZ sind *Computerisierung*, *Algorithmisierung*, *Digitalisierung* medialer Formate sowie die *Entwicklung des Internets* Ausdruck für das “*doing generality*” der durch den digitalen Wandel getriebenen Spätmoderne. Wie bei SIMONDON bilden auch bei RECKWITZ Standardisierung, Formalisierung und Generalisierung die drei praktischen Formen dieses *doing generality* (vgl. ebd., S. 34–36), die nun allerdings nicht mehr im Vordergrund stehen, sondern als „Hintergrundstruktur“ fungieren (ebd., S. 229). Während also Singularität und Individualisierung sowohl zum gesellschaftlich Wünschenswerten als auch (digital)technisch Machbaren wird, tritt das Allgemeine in den Hintergrund und fungiert dort als *Infrastruktur* – und damit im Wortsinne als ‚unterliegende‘ und vielfach nicht sichtbare Struktur für die Genese des *Besonderen*.

RECKWITZ’ soziologische Interpretation des digitalen Wandels zeigt u. a. auf, inwiefern Singularisierungs- und damit Gestaltungsmöglichkeiten innerhalb eines strukturellen Rahmens des normierten, standardisierten Allgemeinen möglich werden, denn die Dimensionen der „Berechenbarkeit“, „Formalisierung“ und „universalen Generalisierung“ (Reckwitz 2017, S. 230), die die Kontur des digitaltechnischen Allgemeinen bilden, führen eben nicht nur zur Standardisierung und damit Fixierung und Einschränkung von Handlungsmöglichkeiten, sondern ‚paradoxerweise‘ auch zu deren Flexibilisierung, da ihre universale Struktur *vielfältige* und heterogene Ausdrucks- und Handlungsmöglichkeiten erlaubt. Dieses Spannungsfeld wird nun im Folgenden als die *Ambivalenz digitaler*

Technik zwischen begrenzender Struktur und Handlungsspielraum, Bestimmtheit und Unbestimmtheit, Geschlossenheit und Offenheit genauer in den Blick genommen und technisch begründet.

3.2 Digitale Objekte zwischen Begrenzung und Möglichkeitsraum

In der folgenden Analyse geht es mir um die Ambivalenz digitaler Objektstrukturen. Den Terminus des digitalen Objekts habe ich der Analyse Yuk HUIs (2016) in seiner Schrift *On the Existence of Digital Objects* entnommen. Als digitale Objekte fasst er untereinander vernetz- und verrechenbare Spannungsunterschiede, die sich zu doppelseitigen Objekten konkretisieren, von denen stets eine Seite dem Computer und eine dem Menschen zugewandt ist. In ihrem digitalen Milieu erhalten diese Objekte eine zunehmend konkretere Bedeutung, insofern sie sich zu bedeutungsgenerierenden Relationen zusammenschließen. Auf diese Analyse HUIs komme ich an späterer Stelle nochmals zu sprechen, hier dient mir der Verweis lediglich dazu, auf den Begriff des *digitalen Objekts* hinzuweisen. Ich adaptiere ihn mit dem Ziel, Spannungsfelder und ambivalente Verhältnisse digitaler Objektstrukturen auf der Makroebene (Soft- und Hardware) sowie auf der Mikroebene (Daten und Information) in den Blick zu nehmen. Unter dem Terminus der Objektstrukturen fasse ich die folgenden Abschnitte auch, um diese von den performativen Dimensionen digitaler Technik zu unterscheiden, denen ich in Abschnitt 3.3 nachgehe. Diese Unterscheidung ist jedoch lediglich eine analytische, denn objektorientierte (Hardware, Architekturen, physische Objekte) und performativen Dimensionen (Algorithmen) hängen in digitaltechnischen Vollzügen stets voneinander ab.

Hard- und Software zwischen physischer Begrenzung und Remixability

Während wir in unserer alltäglichen Vorstellung von *Technik* häufig ein physisches Gerät oder einen Gebrauchsgegenstand vor Augen haben, sei es den Fernseher, einen Mixer oder ein Smartphone, so ist die Vorstellung digitaler Technik gerade aufgrund ihrer Verwurzelung in der Entwicklungsgeschichte des formalen Denkens zunehmend zum Inbegriff des *Virtuellen* als dem physisch ‚Nicht-Wirklichen‘ avanciert. Im März 2021 brannte eines der weltweit größten Rechenzentren in Straßburg mit Platz für 12.000 Server ab und damit auch die „Hosted Private Cloud“, in der die Daten zahlreicher Unternehmen lagen. Die ‚beruhigende‘ Vorstellung, Daten in einer virtuellen Cloud gesichert zu wissen, ohne dabei eigene physische Speichermedien beanspruchen zu müssen, ist Ausdruck eines Technikbegriffs, dem heute im Zuge der digitalen Technik eine eigentümliche metaphysische Existenz zuzukommen scheint (vgl. Maak 2021, o. S.).²⁵ Dazu passt es,

²⁵ Jan DIESTELMEYER schreibt dazu: „Die vermeintliche Reinheit des Digitalen speist seine mythische Effektivität. Unbefleckt von Materie soll sich der Zauber des Digitalen entfalten, dessen ideologische Überzeugungskraft und technische Bedingung aufs Engste mit jener der Elektrizität zusammenhängt. Hier wirkt ‚die Magie der Elektrizität‘, die den mit ihr befassten Physiker William Thomson alias Lord Kelvin für sein viktorianisches Publikum zum ‚wohl angesehensten Schamanen seiner Zeit‘ gemacht haben mag“ (Distelmeyer 2021, S. 28).

dass in der akademischen Reflexion digitaler Technik insbesondere die *Software Studies* die *Funktionslogik* der Technik im Rahmen von Software, Algorithmen und digitalen Objekten in den Vordergrund rückt. Wenn nämlich Software die „Herrschaft“ übernimmt – *Software Takes Command* heißt der prominente Band des Medienwissenschaftlers Lev MANOVICH (2013) – dann bedeutet das nichts anderes, als dass es vornehmlich eine Funktionslogik ist, die als *logisches* und zugleich *performatives Ordnungs- und Kontrollprinzip* digitale Technik konstituiert. Erst unglückliche Ereignisse wie der Brand des Rechenzentrums in Straßburg richten wieder den Blick auf die Physischität der Hardware, ohne die auch software- und netzbasierte Aktivitäten nicht möglich wären. An diesem Einsprungspunkt lässt sich eine erste Spielart der ambivalenten Struktur digitaler Technik aufzeigen, die ich zunächst im Hinblick auf das Spannungsfeld von Hard- und Software als die Ambivalenz von physischer und logischer Struktur aufzeige.

Digitale Technik kann hierfür mit Friedrich KITTNER in erster Näherung als eine physisch materialisierte Form der „Schaltalgebra“ (Kittler 1986, S. 30) bezeichnet werden. Anders also als im Fokus der Software Studies diskutiert wird, besteht das grundlegende Substrat digitaler Technik bei KITTNER in den Grenzen ihrer Physischität, wie der Autor in seinem Aufsatz *Es gibt keine Software* (vgl. Kittler 2014) argumentiert. Denn effektiv nutzbar bleibt nur der Teil digitaler Funktionslogik, der letztlich auch physisch „übersetzt“ werden kann, konkret: dessen elektronische Signale vom chemischen Material *Silizium* physisch prozessiert werden kann. Anders als die Annahme im Buchtitel *Software Takes Command* (Manovich 2013) suggeriert, wird deutlich, dass sich die Struktur der in der Software implementierten Funktionslogik von ihrer physischen Basis nicht trennen lässt, denn als wirkliches Potential dieser Logik kann nur das gelten, was letztlich auch physisch ausführbar ist, nach dem heutigen Stand technologischer Entwicklung bedeutet dies nach wie vor ‚in silicio‘. Die Binärcodierung nach der Logik von 0 und 1 muss sich demnach in Form von Spannungsunterschieden in einer von der Mikroelektronik vorangetriebenen Hardwaretechnik physisch realisieren lassen. Es ist schließlich also die *physische Hardware*, die bestimmt, welche Formen der Objektivierung in der digitalen Technik überhaupt möglich werden (vgl. Schelhowe 1997, S. 58). Doch wie genau gestaltet sich das Verhältnis von physischen (Hardware) und logisch-arithmetischen Dimensionen (Software) digitaler Technik?

Der Schreibprozess, der heute durch die Software erfolgt, überträgt Code „in Silizium“ (Kittler 2014, S. 286). In der Geschichte des Computers sind für KITTNER die speziellen Eigenschaften des günstigen Materials *Silizium* entscheidend für den Übergang vom vormals menschlichen ‚Computer‘ zum technischen Artefakt *Computer*.²⁶ Denn „in ihrer Verbindung auf dem Chip sorgen Silizium und Siliziumoxid für nahezu perfekte

²⁶ „Und als der integrierte Schaltkreis, in den frühen Siebzigern aus Shockleys Transistor abgeleitet, auf ein und demselben Chip das Element Silizium, diesen kontrollierbaren Widerstand, mit seinem eigenen Oxid, diesem fast idealen Isolator, kombinierte, konnte die Programmierbarkeit der Materie, ganz wie Turing prophezeite hatte, ‚die Kontrolle übernehmen‘“ (Kittler 2014, S. 296).

Hardware“ (Kittler 2014, S. 296). Silizium²⁷ sorge dafür, dass „Millionen von Schaltungselementen unter denselben physikalischen Bedingungen“ arbeiten können, vor allem zur Vermeidung von Temperatur- und Spannungsabweichungen. Auf der anderen Seite sorge das Siliziumoxid dafür, dass jene Schaltungen „voneinander elektrisch isoliert“ bleiben: „Einzig diese paradoxe Beziehung zwischen zwei physikalischen Parametern, der thermischen Kontinuität und der elektrischen Diskretisierung, ermöglicht es integrierten Digitalschaltkreisen, nicht einfach endliche Automaten zu sein wie so viele andere Dinge auf Erden, sondern jene Universale Diskrete Maschine zu approximieren, in die der Name ihres Erfinders Turing längst untergetaucht ist“ (ebd., S. 296 f.), schreibt KITTNER. Die Eigenschaften von Silizium sind also der Grund dafür, dass die in Software und höheren Programmiersprachen beschriebenen Quellcodes über Compiler auf die „weitgehend von Maschinenzwängen bestimmt[e]“ binäre Form reduziert werden müssen. Dabei müssen kontinuierliche (analoge) Beschreibungen der Natur erst so fragmentiert werden, dass sie „auf einem Gerät, dessen fundamentale Operationen abzählbar sind, codiert werden können“. Erreicht wird das durch Diskretisierung, also auf Basis „vielfältiger Zerstückelungen“ (ebd., S. 295). Für KITTNER stellt diese den „Preis der Programmierbarkeit“ (ebd., S. 296) dar, der reflektiert werden müsse als das, was „unter den Tisch fällt“, wenn ein Algorithmus – und damit die logisch-arithmetische Struktur digitaler Technik – in eine Handlungsanweisung übersetzt wird, die schließlich ‚in silicio‘ ausführbar ist.

Daher ist es für KITTNER die Hardware, nicht die Software, die für jene mit dem Namen Alan TURING verbundene Programmierbarkeit des Computers als universelle Maschine verantwortlich ist. „Gute Gründe“, so KITTNER, „sprechen vielmehr für die Unabdingbarkeit und folglich auch die Vorgängigkeit von Hardware“ (Kittler 2014, S. 294). In seinem Aufsatz kritisiert KITTNER demgegenüber, dass die Turingmaschine (vgl. ebd., S. 292), die von Alan TURING zunächst als „symbolische“, also noch nicht in einem physischen Apparat realisierte Maschine gedacht wurde, dennoch vielfach als zentrale Denkfigur für die Vorstellung heutiger Digitalcomputer gilt, denn prinzipiell „imitieren [alle] Computer eine Turingmaschine“ (Krämer 1988, S. 180). Als universell kann die im Kontext der Turingmaschine konzipierte Vorstellung vom Computer im Gefolge der *Church-Turing-Hypothese* deshalb gelten, da sie alles, was berechenbar ist, also wofür ein Algorithmus konstruiert werden kann, auch berechnen kann (vgl. ebd., S. 180) und damit für vielfältige Aufgabenstellungen einsetzbar ist. Während aber TURING die Universelle Maschine in seinem Gedankenexperiment als Maschine „mit unbegrenzten Ressourcen in Zeit und Raum, mit unendlichem Papiernachschub und grenzenloser Rechengeschwindigkeit“ konzipierte, so unterliegen alle „physikalisch machbaren Maschinen“ physischen Begren-

²⁷ Nach wie vor basieren in diesem Zusammenhang Mikroprozessoren und Transistortechnik auf den chemischen Eigenschaften von Silizium. Auch für Quantencomputer werden inzwischen Schaltkreise auf Siliziumbasis entwickelt, denn Silizium als Halbleiter, auf dem auch ‚klassische‘ Digitalcomputer-Prozessoren basieren, ermöglicht besonders kleine, stabile und gut abgrenzbare Qubits (vgl. Scinexx.de 2022, o. S.).

zungen (Kittler 2014, S. 294 f.).²⁸ Für KITTNER führte TURINGs Gedankenexperiment zu dem Fehlschluss, die „physische Hardware mit den Algorithmen“ zur Berechnung eines berechenbaren Problems gleichzusetzen, ohne dabei die „Leerstelle“ zu berücksichtigen, die beim Übertrag eines Programms in eine von der Hardware prozessierbare Form entsteht. Diese Leerstelle konnte die Software nach KITTNER aber auch deshalb „erfolgreich besetzen“, weil Software heute davon profitiert, dass „die zur Programmierung immer noch unumgänglichen Schreibakte“ unter grafischen Benutzeroberflächen versteckt werden (ebd., S. 291 f.). Dabei sorge, so Jan DISTELMEYERS (2021) Interpretation von KITTNERS Kritik, die Software in Form von Betriebssystemen und „aufdringlichen“ Graphical User Interfaces dafür, „dass die prinzipiell offene – wenn auch eingeschränkte – Maschine zu einem *closed shop* wird, in dem nur noch bestimmte Anwendungen möglich sind“ (Distelmeyer 2021, S. 74). Hier verschleierten die „Nebelkerzen der Interface-Inszenierungen“ sowohl den „Zugang zur Programmierbarkeit der eigentlich egalitären Maschine namens Computer“ als auch das „Machtbegehren der Software-Konzerne, Menschen als ‚User‘ zu Untertanen ihrer Betriebssysteme zu machen“ (ebd., S. 74). Kritisiert wird hier also einerseits das unternehmenspolitische Kalkül, den Zugang zur prinzipiell offenen Manipulierbarkeit der Computerhardware softwaretechnisch einzuschränken, dabei aber dennoch – ganz im Sinne der ‚virtuellen‘ Turingmaschine (vgl. Kittler 2014, S. 294) – unbegrenzte Nutzungspotentiale zu suggerieren. Doch „je höher und komfortabler“ die höheren Programmiersprachen, „desto unüberbrückbarer [wird] ihr Abstand zu einer Hardware, die nach wie vor alle Arbeit tut“ (Kittler 1993, S. 210) und die zugleich die *Grenzen* der technischen Leistungsfähigkeit eines Computers markiert. Ist es also letztlich doch die Hardware, die die ‚Herrschaft‘ übernimmt? Dass diese Vorstellung zu einfach wäre, beweist die im Folgenden diskutierte *Relationalität* von Software und Hardware und die damit zusammenhängenden Grenzen und Möglichkeitsräume des Computers als offene Maschine.

Noa WARDRIP-FUIN bezeichnet den Computer als “strange type of machine”, denn während die meisten Maschinen für spezifische Zwecke entwickelt wurden, besteht der Zweck des Digitalcomputers darin, alle möglichen Operationen vieler möglicher Maschinen simulieren zu können, er ist also *offen* für alle möglichen Zwecke, solange sie computerberechenbar sind (Wardrip-Fruin 2009, S. 1; vgl. auch Burkhardt 2017, S. 60). Die bemerkenswerte Einsicht, die durch die Entwicklung des Computers Einzug hielt, lag also vor allem darin, dass es durch diesen möglich wurde, eine *allgemeine*, standardisierte (logische und physische) *Struktur* zu realisieren, die aufgrund ihrer prinzipiellen Offenheit und Universalität *unterschiedliche* Handlungsoptionen erlaubte und damit für unterschiedliche Aufgabenstellungen und Erkenntnisinteressen einsetzbar wurde (vgl. Wolfram 2002, S. 642). Mechanische, analoge Rechner – z. B. Vannevar BUSHs *Differential Analyzer* – zeichneten sich dagegen noch dadurch aus, dass Programmanweisungen fest

²⁸ So wies KITTNER seinerzeit auch drauf hin, dass der Bundesgerichtshof Software als „Sache“ definierte, dass also „kein Computerprogramm ohne entsprechende elektrische Ladungen in Siliziumschaltkreisen je laufen würde“ (Kittler 2014, S. 294).

in die Hardware eingeschrieben werden mussten, sie eigneten sich demnach vor allem für die Lösung spezifischer, eingrenzbarer Probleme und Zwecke (vgl. Gramelsberger 2012, S. 172). Im Unterschied zu mechanischen bzw. analogen Rechnern können Digitalrechner daher als “generic devices par excellence” (ebd., S. 172) bezeichnet werden – eine Eigenschaft, die sie in Kontexten wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit zugleich zu einer neuartigen, multifunktionalen Form *generischer Forschungstechnik* (vgl. u. a. Joerges/Shinn 2001a) werden lässt (vgl. Abschnitt 5.1.2). Auch John von NEUMANN, der Erfinder des Prototyps einer bis heute genutzten Architektur digitaler Rechner, hatte letztere als “general-purpose computing machine” (Burks/Goldstine/Neumann 1982, S. 399) bezeichnet (vgl. auch Gramelsberger 2012, S. 172).²⁹ Es lässt sich behaupten, dass die von Hans FREYER seinerzeit als Charakteristikum industrieller Technikentwicklung beschriebene Eigenschaft, nämlich „Potenzen bereitzustellen für freibleibende Zwecke“ (Freyer 1970, S. 139), in der universellen Rechenmaschine eine neue informationstechnische Ausdrucksform erhält.

Trotz der physikalischen Grenzen, denen Hardware stets unterliegt (s. o.), setzte die von VON NEUMANN entwickelte prototypische Architektur wesentliche Grundpfeiler für die Konstitution des Computers als *offene Maschine*. Hierzu zählt insbesondere die Festlegung der generischen Binärstruktur der Datenrepräsentation, die sich physikalisch in Spannungsunterschieden ausdrücken und mittels Siliziumtransistoren ausführen lässt. Dazu gehört aber auch die Möglichkeit der Speicherbarkeit und automatischen Abrufbarkeit unterschiedlicher Programme innerhalb der Architektur, durch die es möglich wird, die Maschine unterschiedlichen Zwecksetzungen zuzuführen und sie multifunktional und vernetzbar zu gestalten (vgl. u. a. Herold/Lurz/Wohlrab 2012, S. 32 f.). Konzeptuell vorgedacht war diese Flexibilität der Architektur bereits durch die von Alan TURING konzipierte *Universelle Maschine* (vgl. Turing 1937, S. 242). Aber diesen umfänglichen Möglichkeitsraum, den die Turingmaschine als Logik und die Von-Neumann-Architektur als physische Architektur prototypisch eröffnen, schließlich zur Performanz zu bringen, ist Aufgabe und Potential der *Software* als Daten- und Befehlsstruktur, ohne die die Möglichkeiten jener flexiblen Rechenarchitektur nicht ausschöpfbar wären. Analogisierbar wäre diese Konstellation mit dem von Noam CHOMSKY (2006) entworfenen Konzept einer *generativen Grammatik* sowie seiner Unterscheidung zwischen *Kompetenz* und *Performanz* (vgl. ebd., S. 102–113). CHOMSKY hatte aus Sicht der Linguistik die Idee einer generativen Grammatik als ein immanentes, dem Menschen angeborenes Regelsystem

²⁹ Die Von-Neumann-Architektur basiert auf den Komponenten *Steuerwerk*, *Rechenwerk*, *Speicher*, *Ein- und Ausgabeeinheiten* sowie einem *Verbindungssystem*. Sie legt zudem fest, dass das steuernde Programm als Befehlsstruktur aus einer Kette logischer Binärentscheidungen (Ja/Nein-Auswahl) bestehen soll, die schrittweise abzuarbeiten ist. Schließlich legt sie fest, dass das Programm genauso wie die Daten im Speicher abzulegen sind und dort automatisch abgerufen werden sollen sowie das Prinzip der nichtlinearen Programmabläufe, bei denen bedingte Befehle auch Sprünge und Verzweigungen erlauben. Auf den Punkt gebracht zeichnet sich die Architektur dadurch aus, dass sie die Verwendung von zwei alternativen Zuständen zur Datenrepräsentation festlegt, ihr Programm im vorgesehenen Speicher speichert und Elektronik anstelle von Mechanik nutzt (vgl. Herold/Lurz/Wohlrab 2012, S. 32 f.).

entwickelt, auf der das menschliche Sprachvermögen (seine *Kompetenz*) gründet (vgl. Tulodziecki/Herzig/Grafe 2019, S. 183). Die generative Grammatik als unterliegende Tiefenstruktur bzw. „deep structure“ (Chomsky 2006, S. 111) ermöglicht es dem Menschen, mithilfe eines endlichen Sets sprachlicher Grundelemente und auf Basis rekursiver Prozesse *unendlich viele* Äußerungen zu generieren (vgl. ebd., S. 62 und 138; Irvin 2015, S. 23 f.). Dieses Vermögen muss allerdings erst zur Performanz gebracht, das heißt, muss individuell *angewendet* werden. Bei CHOMSKY entwickelt sich der Begriff der *Performanz* zu einem Komplementärbegriff der *Kompetenz*. Während Kompetenz ein generisches Vermögen bezeichnet, markiert Performanz das Handeln gemäß dieses Vermögens und damit dessen Aktualisierung, im sprachtheoretischen Kontext meint sie beispielsweise das tatsächliche Sprechen als Tun und damit Sprache als „Verwendung, Ausführung und Vollzug“ (Wulf/Zirfas 2005, S. 9).

Einem ähnlichen Ansatz, so meine Interpretation, folgt der auf der Idee der Turingmaschine und der Von-Neumann-Architektur basierende Digitalrechner als *general-purpose device*. Während die generische Rechnerarchitektur zwar das prinzipielle, immanente ‚Sprachvermögen‘ des Rechners verkörpert – nach CHOMSKY dessen Kompetenz – ist es die Software, die diese erst zur Performanz bringt. In der Computerhardware ist es dabei nicht mehr das menschlich-immanente Regelsystem, das als generische Grundlage für unendliche (sprachliche) Artikulationsmöglichkeiten dient, sondern ein technikimmanentes, exteriorisiertes und objektiviertes Regelsystem. Im Digitalrechner beschränkt sich das endliche Set möglicher Zeichen auf die Spannungsunterschiede 0 und 1, die in elektronischen Schaltungen „*in silicio*“ ausführbar sein müssen (Hardware). Für die Ausschöpfbarkeit dieses allgemeinen Potentials der Hardware (Kompetenz) und damit für die flexible Verkettung und Kombination der physikalischen Schaltungen sorgt allerdings die Befehlsstruktur der Programme (Software). Während also Hardware festlegt, welche Verkettungen physisch überhaupt ausführbar sind, ist die Software als Sammelbegriff für Programmiersprachen, Algorithmen, Datenstrukturen, Betriebssysteme und Datenbanken (vgl. Herold/Lurz/Wohlrab 2012, S. 38 f.) in der Lage, den Aktionsraum möglicher Verkettungen von Spannungsunterschieden und Schaltungen auszuschöpfen, indem es diesen beschreibt, ordnet und entsprechende Befehlsstrukturen an die Hardware gestaltet. Benjamin JÖRISSEN und Dan VERSTÄNDIG verstehen in diesem Zusammenhang Code als „*in Form von Programmiersprachen vorliegenden symbolischen Ausdruck*“ und Software als die „*kompilierte, an Hardware angepasste und immer nur in Hardwarestrukturen verortete, performative Informationsstruktur*“ (Jörissen/Verständig 2017, S. 39). Während Software also eine stets an die Hardware anzupassende Struktur darstellt, ist sie zugleich in der Lage, den von TURING und VON NEUMANN konzipierten Möglichkeits- bzw. Kompetenzraum auszuschöpfen. Zielt die generische Struktur universeller Rechenmaschinen, wie von Hans FREYER beschrieben, darauf ab, „*Potenzen bereitzustellen für freibleibende Zwecke*“ (Freyer 1970, S. 139), so kann mit Arnold GEHLEN argumentiert werden, dass Software dazu dient, die hardwaretechnisch bereitgestellten Potentiale (Kompetenz) „*zu variieren, durchzuprobieren, bis zur Erschöpfung der Möglichkeiten ins Spiel zu bringen*“ (Gehlen 2007, S. 30).

Lev MANOVICH spricht in seiner bereits erwähnten Schrift *Software Takes Command* auch von einer durch Software ermöglichten “deep remixability” (Manovich 2013, S. 46). Remixability bezieht sich bei MANOVICH nicht nur auf das Kombinieren und Neuordnen medialer Ausdrucksformen wie Bilder, Videos oder Audioformate, sondern beinhaltet auch das Zusammenführen von Techniken, Methoden und Repräsentationsformen im Allgemeinen. *Deep remixability* meint damit eine erweiterte, übergeordnete Form einer kulturprägenden “remixability”, die durch die generischen Strukturen digitaler Technik möglich wird: “Normally a remix is a combination of content from a single medium (like in music remixes), or from a few mediums (like Anime Music Video works which combine content from anime and music video). However, the software production environment allows designers to remix not only the content of different media types, but also their fundamental techniques, working methods, and ways of representation and expression” (ebd., S. 46).³⁰ Mithilfe von Softwaretechnik können also nicht nur Repräsentationsformate wie Musik- und Filmelemente „remixed“ werden, sondern auch *Techniken*, *Arbeitsmethoden* und *Ausdrucksweisen* (vgl. Manovich 2013, S. 268). So lassen sich nun beispielsweise kreative Bildbearbeitungstechniken, die vormals mithilfe separater Medien und Geräte realisiert wurden, mittels Symbolleisten, Dropdown-Menüs und Werkzeugkästen in ein- und dieselbe Softwareumgebung integrieren und dort simulieren.

Deep remixability entsteht dabei erst durch die *Interaktion* zuvor separater Verfahren und Techniken, die ohne digitale Softwaretechnik allerdings undenkbar wäre (vgl. Manovich 2013, S. 272). Denn durch die Integration unterschiedlicher Arbeitstechniken innerhalb einer Softwarumgebung können auch “Cross-over”-Effekte erzeugt werden. Das

³⁰ Die Voraussetzungen für *deep remixability* hatte MANOVICH bereits in seinem grundlegenden Werk *The Language of New Media* (vgl. Manovich 2001) expliziert, in dem er *Numerical Representation* und *Modularity* als technisch-formale Prämissen beschrieb, auf deren Grundlage neue Möglichkeitsräume entstehen konnten, die MANOVICH als *Automation*, *Variability* und *Transcoding* bezeichnet. Die numerische Darstellungsweise von Daten sorgt nicht nur für einen generischen, einheitlichen Repräsentationsraum, sondern auch dafür, dass digitale Medienobjekte durch Algorithmen manipulierbar und gestaltbar werden: “Media becomes programmable” (ebd., S. 27). Numerische Repräsentation und Modularität ermöglichen es dabei, die Manipulation von Medienobjekten mittels algorithmischer Prozessierung zu automatisieren (vgl. ebd., S. 32). Zugleich machen sie die digitalen Medienobjekte variabel, denn diese können in potentiell unendlich vielen Versionen modifiziert werden. Variabilität entsteht dabei dadurch, dass die zu bearbeitenden Elemente (Daten) und ihre zusammengesetzte Tiefenstruktur (Algorithmen) gerade nicht „fest verdrahtet“ sind (vgl. ebd., S. 41). Als weitreichendste Konsequenz dieser Form einer „Digitalisierung“ ursprünglicher Medienformate nennt MANOVICH schließlich *Transcoding* und meint damit den „konzeptuellen Transfer“ von der Computerebene in die Kulturerbene und umgekehrt, der durch jene durch Software ermöglichte Flexibilität entsteht (ebd., S. 47; Übers. OM). Aufgrund dieser tiefenstrukturellen Transformation von Medienobjekten durch digitale Technik hält MANOVICH den Vergleich „alter“ Medienformate wie Fotos, Bilder und Druckwerke, mit ihren digitalen Neufassungen für ungenügend, denn dieser berücksichtige gerade nicht jene strukturelle Transformation (vgl. ebd., S. 47). Dies ist auch dem geschuldet, dass sich die neuen Medienformate im Vergleich zu den „alten“ an der *Oberfläche* nur geringfügig unterscheiden: “New media may look like media, but it is only the surface” (ebd., S. 48). An ihrer Oberfläche werden aber weder die neuen „Freiheiten“ – ihre Manipulierbarkeit und Programmierbarkeit – noch ihre tiefenstrukturellen Voraussetzungen und Begrenzungen direkt ersichtlich.

heißt, dass Arbeitstechniken und Effekte, die zuvor mit bestimmten physischen Medien, Materialien oder Geräten ‚fest verdrahtet‘ waren, durch *Simulation in der Software*³¹ nun auch auf andere Materialien angewendet werden können. Eine wirklich tiefgreifende Form der Remixability ist also nicht lediglich durch das Zusammenfügen von Techniken und Inhalten gekennzeichnet, sondern vor allem durch die Synergien und Interaktionsmöglichkeiten, die durch die Simulation jener Techniken und Inhalte in der Software entstehen (vgl. ebd., S. 324–326).

Für die spätere Analyse digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit hat diese Möglichkeit der Virtualisierung bzw. Simulation von Arbeitstechniken auch epistemische Bedeutung: So lassen sich beispielsweise alle Arten digitaler Daten immer auch in Form von Bildern in Erscheinung bringen. Die Trennung von *Speicherung* (in Form binärkodierter, numerischer Werte) und *Präsentation* von Daten (in Form ‚analoger‘ Repräsentationsformate) ermöglicht die „Übersetzung aller medialen Darstellungsformen (Text, Zahlen, Meßwerte, Töne, Haptik etc.) in eine binäre Kodierung“ (Gramelsberger 2000, S. 59) und zugleich auch die ‚Rückübersetzungen‘ binärkodierter Datenformate in ikonische Präsentationformen. Ihre generische Codierung eröffnet damit zahlreiche *Reinszenierungsmöglichkeiten* für Daten. Felix STALDER hatte Referentialität, die sich u. a. in einer Remix-Kultur manifestiert, bereits als zentrale Orientierungsform in einer *Kultur der Digitalität* aufgezeigt (vgl. Stalder 2017, S. 118–128; vgl. auch Abschnitt 1.2). *Deep remixability* kann hier als die softwaretechnische Grundlage dieser Remix-Kultur gewertet werden, insofern durch die flexible, generische Struktur digitaler Hard- und Softwaretechnik nicht nur der Remix von Medienformaten möglich wird, sondern – im Fall digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit – auch ein Remix von Analyse- und Arbeitstechniken bzw. ganz allgemein gesprochen ein ‚Remix‘ unterschiedlicher *Weltzugänge* (vgl. Abschnitt 5.2).

In diesem Abschnitt wurden Ambivalenzen digitaltechnischer Hard- und Softwarestrukturen erörtert: Hardware als physische Struktur bestimmt und *begrenzt*, welche Operationen ‚in silicio‘ tatsächlich realisierbar sind. In ihrer generischen, universellen Architektur bildet Hardware aber zugleich einen Möglichkeitsraum, der gerade nicht nur für spezifische, sondern für *unterschiedliche* Handlungs- und Erkenntnisinteressen nutzbar ist. Um diese ausschöpfen zu können, ist Software notwendig. Software ist aber häufig

³¹ MANOVICH erläutert dies anhand der softwarebasierten Simulation von Tiefenschärfeeffekten, die vor-mals mittels optischer Linsen in Foto- oder Filmkameras erzeugt und seit den 1980er Jahren in Software simuliert wurden, um damit zunächst fotorealistische 3D-Computergrafiken zu produzieren (vgl. Manovich 2013, S. 325). Während die simulierte Tiefenschärfe zwar die Erinnerung an die linsenbasierte Foto- und Filmaufzeichnung bewahrt, so entsteht doch in der Software im Grunde eine neue Technik, die einen eigenständigen ‚Charakter‘ aufweist: “It has the fluidity and versatility not available previously. Its connection to the physical world is ambiguous at best” (Manovich 2013, S. 325). Durch ihre Simulation in der Software können Tiefenschärfeeffekte auch auf zuvor ‚unbekanntem Terrain‘ zum Einsatz kommen, so beispielsweise wenn sie nicht nur in fotorealistischen, sondern auch in stilisierten Bildern eingefügt werden (ebd., S. 325).

zunächst Verdeckungsmechanismus, da sie Nutzerinnen und Nutzern über höhere Programmiersprachen und grafische Benutzeroberflächen nur einen eingeschränkten Zugriff auf die basalen Ebenen des hardwaretechnischen Möglichkeitsraums gewährt und so den „Preis“ von dessen Programmierbarkeit verdeckt (vgl. Kittler 2014, S. 296). Zugleich ist es aber die Software, die durch die in ihr gelagerte Daten- und Befehlsstruktur die generischen Möglichkeitsräume der Hardware zur Performanz bringen kann und durch *deep remixability* ein bis zur Erschöpfung erweiterbares „*Spiel der Möglichkeiten*“ (Rohbeck 1993, S. 224; H. i. O.; vgl. auch Manovich 2013) erlaubt. Innertechnisch basiert dieses Spiel vor allem auf der Möglichkeit, Daten als grundlegende Informationseinheiten und ‚Material‘ algorithmischer Verarbeitung prozessieren, vernetzen und rekontextualisieren zu können. Dabei konkretisieren sich die digitalen Objekte – wie HUI sie nennt – in bedeutungsgenerierende Beziehungsgefüge, die durch Metadatenordnungen und Ontologien restrukturiert und so mit Bedeutung versehen werden können. Im folgenden Abschnitt wird die übergeordnete Ebene der Hard- und Softwarestrukturen verlassen und digitale Objektstrukturen auf einer Daten- und Informationsebene betrachtet, auf der der generische Möglichkeitsraum der Technik durch technische Standards und Vernetzung digitaler Objekte zunehmend ausgeschöpft wird. Im Zuge ihrer Vernetzung und *Konkretisierung* erhalten digitale Objekte dabei eine zunehmend semantische Kontur. Diese Ebene wird im Folgenden im Kontext des Spannungsfelds von Syntax und Semantik diskutiert.

Information zwischen Syntax und Semantik

Neben dem Begriff des Algorithmus, der in Abschnitt 3.3 im Fokus steht, hat der Begriff des *Datums* in der akademischen Reflexion des digitalen Wandels in den letzten Jahren einen zentralen Stellenwert eingenommen. Dieser wurde insbesondere vor dem Hintergrund der mit „Datafizierung“ und „Big Data“ verbundenen Herausforderungen für Gesellschaft, Kultur und Bildung diskutiert (vgl. Geiselberger/Moorstedt 2013; Iske et al. 2020; Rath 2019a; Reichert 2014a; Schiefner-Rohs/Hofhues/Breiter 2024; Wiegerling/Nerurkar/Wadephul 2020). Da es mir in dieser Arbeit allerdings um *Wissen* und *Erkenntnisprozesse* geht, soll der Datenbegriff in diesem Abschnitt zunächst aus der Perspektive des Begriffs der *Information* in den Blick genommen werden, um daran anknüpfend Yuk Huis (2016) Auseinandersetzung der Relationalität digitaler Objekte zu diskutieren. Daten, so Lisa GTELMAN und Virginia JACKSON in ihrer Einleitung zum Band *Raw Data Is an Oxymoron*, “are units or morsels of information” (Gitelman/Jackson 2013, S. 1). Daten stellen also die grundlegendsten Informationseinheiten digitaltechnischer Verarbeitung dar, auf ihrer „atomaren Ebene“ konstituieren diese sich aus Bits und Bytes (vgl. Hui 2012, S. 381; Übers. OM). Doch welche ‚Information‘ ist in diesen enthalten? Die Beantwortung dieser Frage hängt u. a. auch von Begriffsdefinitionen ab.

TURINGS Modell des sequentiellen Automaten (vgl. auch Coy 1995) prägt informatische Theoriebildung bis heute (vgl. Schelhowe 2004, S. 335). Die Vorstellung des Computers als „Fleisch gewordene Mathematik“ (Zuse 2010, S. 100), der den Menschen vom „sturen Wiederholen von Rechengängen“ und von den Lasten „gleichförmiger, ermüdender

geistiger Tätigkeiten“ befreit, war SCHELHOWE zufolge „stärkste Triebfeder der Entwicklung der Informatik“, denn diese befasst sich im Wesentlichen mit der „systematischen, automatisierten Verarbeitung von Information“, heißt es im Positionspapier der Gesellschaft für Informatik (GI 2005a, S. 2; vgl. auch Schelhowe 2016, S. 43). „Im Zentrum der Informatik steht die Information“, heißt es in der Langfassung jenes Positionspapiers, Informatik befasse sich entsprechend mit der „Darstellung, Speicherung, Übertragung und Verarbeitung von Information“ (GI 2005b, S. 6 f.). Dabei geht es der Informatik um eine spezifische Deutung von *Information*, nämlich Information als Form eines dekontextualisierbaren Wissens, das sich im Rahmen formaler Strukturen verarbeiten, transferieren und speichern lässt, ohne dass während der Informationsverarbeitung ‚Interpretationsleistungen‘ notwendig wären, es handelt sich also in diesem Fall um einen vorwiegend *syntaktischen* Informationsbegriff. Digitale Technik ist in der klassischen informatischen Sichtweise also vor allem *Informationstechnik*, und damit eine Technik zur elektronischen Prozessierung von Mensch und Lebenswelt ablösbare Information, die in Form binärcodierter Signale und mithilfe elektronischer Schaltkreise prozessiert werden kann (vgl. auch Abschnitt 2.2.1). Dieser vor allem von Claude SHANNON und Warren WEAVER geprägte Informationsbegriff reduziert Bedeutung auf die „Wahrscheinlichkeit der Aussage“ (Robben 2006, S. 33). Die mit SHANNON und WEAVER verbundene Informationstheorie beschäftigt sich denn auch nicht mit „dem semantischen und pragmatischen Aspekt von Zeichen, sondern lediglich mit der Zeichenübertragung selbst“ (Baacke 1973, S. 45; vgl. auch Barberi 2018, S. 187). Die Stärke eines so gedeuteten Informationsbegriffs liegt daher auch nicht in seiner Brauchbarkeit für die Artikulation und Übertragung von ‚Sinn‘ und Bedeutung, sondern ist technisch betrachtet deswegen lohnend, da für die computerbasierte Verarbeitung von Information deren Inhalt und Bedeutung zunächst als *irrelevant* gelten darf (vgl. Robben 2006, S. 32). Positiv gesprochen könnte Information insofern als *generisch* bezeichnet werden, als dass sie im Zuge ihrer digitaltechnischen Verarbeitung noch keine *Form* bzw. kein Ausgabeformat (z. B. Text, Ton, Bild) oder aber eine Sinnzuschreibung zwingend vorschreibt, damit aber auch offen und relativ flexibel für ein nachgängiges Zuschreiben von Sinn und Bedeutung ist. Der Informatiker Peter BRÖDNER warnt allerdings vor der irreführenden Metaphorik des Informationsbegriffs, da Information im *alltäglichen Sprachgebrauch* meist gerade nicht das kontextlose Zeichen, sondern den für den Menschen bedeutungsvollen Inhalt einer Mitteilung meint. Er bevorzugt in Anlehnung an das triadische Zeichenmodell von Charles Sanders PEIRCE die Assoziation maschineller Datenverarbeitung und Signalübertragung mit der *syntaktischen Dimension* des Zeichenmodells (vgl. Brödner 2022, S. 3).

Christian WADEPHUL kritisiert im Zusammenhang mit dem Informationsbegriff den unscharfen Gebrauch der Termini *Datum* und *Wissen*, wie er heute vor allem im Kontext populärer Diskussionen um *Big Data* zum Ausdruck kommt, in denen Daten als kontextloser, das heißt neutraler „Rohstoff“ betrachtet werden, der unabhängig vom menschlichen Deutungzwang existiert. Es habe sich eine Verwendung der Begriffe durchgesetzt, die Datum als „semantikfrei“ und Information als „eindimensional“, nämlich lediglich „formal-semantisch“ auffasse (Wadephul 2016, S. 44).

Mit Blick auf die computerbasierte Datenverarbeitung plädiert Klaus KORNWACHS dafür, die Konzepte *Signal*, *Zeichen*, *Information* und *Wissen* strikt auseinanderzuhalten. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass nicht einmal auf der untersten Stufe der Signale von einer vollkommenen menschlicher Interpretation losgelöster Entität ausgegangen werden kann, denn bereits der Beobachtung von Signalen oder Erhebung von Sensordaten liegt eine bestimmte ‚Messhypothese‘ zugrunde, die entweder im Messgerät – hier: den Sensoren – integriert ist oder die bei der Erhebung von Daten den Erhebungsprozess strukturiert, so beispielsweise durch die Definition der Kategorien von Variablen, deren Wertebereichen und von Zeiträumen, in denen gemessen bzw. erhoben wird (vgl. Kornwachs 2020, S. 10; vgl. auch Rath 2019a, S. 22–24). Im Rahmen qualitativer Befragungen kann eine unterliegende Messhypothese beispielsweise zu entsprechenden Antwortvorgaben oder zu einer der Messhypothese entsprechenden Vorstrukturierung möglicher Antworten nach Kategorien führen. Diese stellen einen „Ausdruck der Vortheorie über den Prozess oder Zustand des Gegenstandsbereichs, der gemessen oder erhoben wird“ dar (Kornwachs 2020, S. 10). Signale, Beobachtungsimpulse oder Antworten im Rahmen von Befragungen werden also erst zu *Daten*, wenn diese bereits in ein der Messhypothese oder Vortheorie entsprechendes Format und eine entsprechende Ordnung überführt wurden. Werden diese Daten dann mittels computerbasierter Rechenprozesse verarbeitet, wertet „das Programm die Daten im Hinblick auf eine bestimmte Fragestellung“ aus (ebd., S. 10). Insgesamt lässt sich sagen, dass durch Digitalisierung und Sensorisierung der Umwelt zwar durchaus *Information* im informationstechnischen Sinne entsteht, nämlich als von menschlicher Aneignung zunächst noch losgelöstes, nur *potentielles Wissen*, das erst durch Prozesse der Aneignung zu *Wissen* werden kann. Allerdings ist auch die nur digitaltechnisch prozessierte Information nicht als vollkommen frei von menschlicher Zuschreibung zu betrachten, da ja just jene zunächst ‚nur‘ technisch verarbeiteten Daten erst nach spezifischen Auswahlprozessen bzw. ‚Messhypotesen‘ in den Verarbeitungsvorgang eingefügt werden. Deutlich wird, dass gegenüber der Annahme einer rein syntaktischen – das heißt interpretationsfreien – Verarbeitungsmöglichkeit durch den Computer, das, was dieser zur Verarbeitung erhält, kein vollständig interpretationsfreier ‚Rohstoff‘ ist. In diesem Zusammenhang weisen Lisa GITELMANN und Virginia JACKSON in ihrer Einleitung zum Sammelband *Raw Data is an Oxymoron* darauf hin, dass auch das, was der Computer als Daten verarbeitet, auf Prozessen menschlicher Imagination, und damit Interpretation, beruht und damit stets etwas Konstruiertes, und nicht vorab Gegebenes ist (vgl. Gitelman/Jackson 2013, S. 3).

Ein syntaktischer Informationsbegriff findet auch Anklang in BATESONS Deutung von Informationen als „Unterschieden, die einen Unterschied machen“ (Bateson 1984, S. 123) – Unterschiede, die heute u. a. auch mittels Sensoren gemessen werden können, die Signale aus der unmittelbaren Umwelt sammeln (vgl. Wadephul 2016, S. 44). Aber nicht nur weil das, was Digitalrechner verarbeiten, aus bereits vorstrukturierten „Unterschieden“ besteht (s. o.), sondern auch vor dem Hintergrund des *maschinellen Lernens* wäre es schließlich sinnvoll, den Informationsbegriff nicht zu eindimensional syntaktisch zu begreifen, denn ‚selbstlernende‘ algorithmische Systeme vermögen es heute, jene tech-

nisch erfassten „Unterschiede“ so zu synthetisieren, dass ihnen eine bereits als *semantisch* deutbare Performativität zugesprochen werden kann: In modernen Autos, so WADEPHUL, meint syntaktische Information etwa die sensorbasierte Information „Stillstand der Räder“, eine Information, die allerdings ohne Interpretation unbedeutend bleibt. Demgegenüber existiert ein quasi-semantischer Informationsbegriff, bei dem jene Unterschiede bereits auf höherstufigeren technischen Prozessierungen basieren und dadurch eine erste semantische Bedeutung erhalten. So kann die syntaktische Information „Stillstand der Räder“ vom technischen System sowohl als „Stau“ als auch als „Parken“ gedeutet werden, eine Unterscheidung, die solche autoadaptive technischen Systeme inzwischen bereits „situativ“ erschließen können (Wadephul 2016, S. 44). Dies deutet darauf hin, dass der in den Anfängen der Informatik postulierte syntaktische Informationsbegriff heute – insbesondere vor dem Hintergrund des maschinellen Lernens – einer Revision bedarf, da er nicht nur im Hinblick auf die im menschlichen Sprachgebrauch vorherrschende Deutung des Terminus *Information* als ungenügend erscheint, sondern auch im Hinblick auf inzwischen ‚lernende‘ algorithmische Systeme, die Informationen höherstufig prozessieren und sie mit einer innertechnischen ‚Deutung‘ versehen – ein Prozess, auf den auch im Kontext der Konturierung algorithmischer Performativität im Zusammenhang des Begriffs der *Rekursivität* noch näher einzugehen ist (vgl. Abschnitt 3.3).

Trotz der Schwächen des Informationsbegriffs, soll er zur Unterscheidung zum menschlichen *Wissen* im Rahmen dieser Studie weiterhin genutzt werden. Der Begriff des *Datums* als Grundelement computerbasierter Verarbeitungsprozesse erhält dabei eine wissenstheoretische Deutung: Algorithmische Verarbeitung von Daten wird hier im Sinne der Informationstechnik als *Informationsverarbeitung* und diese wiederum als *innertechnische* Form der ‚Bedeutungszuschreibung‘ verstanden, die als Grundlage menschlicher Interpretation schließlich auch ein *potentielles Wissen* bildet. Daher wird im Kontext der Analyse wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit innerhalb digitaltechnischer Strukturen auch immer wieder von *Informationsstrukturen* die Rede sein (vgl. Abschnitt 5). Gemeint sind die Strukturen, in denen realweltliche Strukturen und Objekte ‚informatisiert‘ und in ein computerlesbares Format umgewandelt werden, um anschließend innertechnisch weiter prozessiert werden zu können. Während *Wissen*, so die in dieser Studie vorgenommene Deutung, stets auf Grundlage menschlicher Verarbeitungs-, Aneignungs- und Interpretationsleistungen entsteht, markiert der von einem Digitalrechner prozessierte Datenraum zunächst nur *potentielles Wissen*. Dass aber auch die innertechnische Informationsverarbeitung nicht rein ‚syntaktisch‘ und damit jenseits von Bedeutungszuschreibungen erfolgt, ist in der bisherigen Reflexion bereits deutlich geworden. Doch wie genau lassen sich diese informationstechnischen ‚Bedeutungszuschreibungen‘ charakterisieren und was bedeuten sie für menschliches Handeln mit diesen?

Auch der als syntaktische Maschine gedachte Rechner der Informatik arbeitet mit Kategorisierungen und Verhältnisbestimmungen, stellt technikimmanente Relationen zwischen Daten her und formt sie dadurch zu Objekten, wie YUK HUI (2016) argumentiert.

Kategorien, so hat bereits Immanuel KANT in seiner *Kritik der reinen Vernunft* festgestellt, sind aber stets produktiv, insofern sie an der Zuordnung von Erscheinungen zu Begriffen beteiligt sind (vgl. auch Hui 2016, S. 90). Yuk HUI verweist in diesem Zusammenhang auf die Relationalität digitaler Objekte, die über Metadaten und Algorithmen eine quasi-semantische Struktur erhalten. Dabei verweist er auf Brian CANTWELL SMITH (1998), der Daten mit menschlichen Sinneseindrücken analogisiert hatte, aus denen Rechenprozesse (ähnlich wie die menschliche Kognition) schließlich objektive Formen generieren. Mithilfe von Algorithmen fungieren Metadatenschemata dabei als *Kategorien* und produzieren aus Datenströmen *Formen*, die HUI als *digitale Objekte* bezeichnet (vgl. auch Hui 2016, S. 91 f.). Digitale Objekte bestehen also im Wesentlichen aus Beziehungsstrukturen, die nicht nur für menschliche Nutzende, sondern auch für die Rechenmaschinen selbst von ‚Bedeutung‘ sind (vgl. ebd., S. 90). Durch eine solche *relationale* Perspektive auf digitale Objekte versucht HUI die Opposition von Syntax und Semantik miteinander zu versöhnen (vgl. auch ebd., S. 109–186), indem er aufzeigt, dass Daten durch vernetzte Bedeutungsschemata wie Metadaten und Ontologien sowie durch ihre Prozessierung durch Algorithmen zu genuinen bedeutungstragenden *Objekten* werden.

Auf einer basalen physikalischen Ebene konstituieren sich digitale Objekte HUI zufolge durch ihre *elektronische Materialität*, die sich in Spannungsunterschieden realisiert. Als solche begegnen digitale Objekte Menschen aber nicht, sondern stets als bereits geformte, vorstrukturierte Entitäten: “By digital objects, I mean objects that take shape on a screen or hide in the back end of a computer program, composed of data and metadata regulated by structures or schemas” (Hui 2016, S. 1). Zentrales Charakteristikum digitaler Objekte ist für HUI dabei ihre Vernetzbarkeit, und zwar dass sie aufgrund ihrer gleichförmigen Materialität als Spannungsunterschiede untereinander „vernetzt und verrechnet“ (ebd., S. 2; Übers. OM) werden können. Das Wesen digitaler Objekte zeigt sich HUI zufolge daher weniger in ihrer ‚Substanz‘ als in ihrer Konstitution als logische Aussagen und Ressourcen für die Bildung von Relationen und Beziehungsstrukturen (vgl. ebd., S. 25), in denen “everything has the possibility to connect to other things” (ebd., S. 24). Darin manifestiert sich HUIs *relationale Vorstellung* digitaler Technik, die sich nicht so sehr durch ihre Materialität, sondern den Möglichkeitsraum darin erzeugbarer relationaler Strukturen auszeichnet (vgl. ebd., S. 237).

Die Entstehung solcher strukturierter, vernetzter digitaler Objekte entfaltet HUI in Rekurs auf SIMONDON (2012) als Prozess der *Konkretisierung* (vgl. Abschnitt 3.1). In Anlehnung an SIMONDONS genetische, evolutionäre Technikperspektive will HUI die *Genese* digitaler Objekte ebenfalls in ihrem Entstehungs- und Konkretisierungsprozess verstehen. HUI geht es also in Rekurs auf SIMONDON nicht um das digitale Objekt selbst, sondern vielmehr um die bedeutungsgenerierenden *Beziehungsstrukturen*, in das diese sich im Laufe ihrer Genese ‚hinein entwickelt‘ haben. Dabei analysiert HUI, wie digitale Objekte kausale Relationen zwischen ihren inneren Elementen sowie zu ihrem assoziierten Milieu entwickeln. Als das assoziierte Milieu digitaler Objekte fasst HUI beispielsweise Auszeichnungssprachen, Netzwerkprotokolle und Ontologien: “GML through SGML, HTML, XML, and XHTML, and today to the Web ontologies proposed in Tim Berners-

Lee's vision of the semantic web" (Hui 2016, S. 26) befördern jenen Konkretisierungsprozess, in dem digitale Objekte bedeutungstragend vernetzt werden. Digitale Objekte konkretisieren sich dabei vor allem durch ihr *Eingebundensein in multiplen Netzwerken*, die sich über Codierungen, Protokolle, Algorithmen und Standards konstituieren (vgl. ebd., S. 26). Zentrale Bedeutung in diesem Konkretisierungsprozess kommt dabei der *Ontologie* im informatischen Sinne³² zu. Ähnlich wie KANTS Kategorien, sind auch die informatischen Kategorien, für die der informatische Begriff der *Ontologie* prototypisch steht, als *produktiv* zu deuten (vgl. ebd., S. 34), insofern sie Daten in Ordnungen organisieren, die die Vielzahl ihrer Erscheinungsformen in eine gemeinsame Struktur bzw. auf einen gemeinsamen *Begriff* bringen und dadurch überhaupt erst zu *Objekten* werden lassen: "However, we still find ontologies to be the most important constituents of digital objects. Ontologies are what make digital objects objects" (ebd., S. 33 f.). HUI geht es bei der Konturierung digitaler Objekte also insbesondere um Daten, die durch Metadaten, Auszeichnungssprachen und Ordnungssysteme bereits in *Beziehungsstrukturen* eingebunden und vernetzt sind und dadurch ‚Bedeutung‘ erlangt haben.

Für die hiesige Konturierung des ambivalenten Charakters digitaler Technik ist aus HUIs Reflexion zu entnehmen, dass die generische, offene und rekontextualisierbare digitaltechnische Struktur der Universellen Rechenmaschine, wie ich sie im vorhergehenden Abschnitt skizziert habe, im Laufe ihrer Entwicklungsgeschichte bereits in erheblichem Maße *ausgeschöpft*, das heißt *konkretisiert*, worden ist. Der generische technische Möglichkeitsraum hat bereits unterschiedliche Arten der Strukturierung erfahren, durch die digitale Objekte in Beziehungsstrukturen eingefasst und damit – auch für die technischen Systeme selbst – zunehmend semantisch und ‚lesbar‘ wurden. HUI nimmt in diesem Zusammenhang die Entwicklung zum von Tim BERNERS-LEE und anderen konzipierten *semantic web* in den Blick. Diesen Konkretisierungsprozess beschreibt HUI im Kontext der zunehmenden Komplexität von Auszeichnungssprachen von GML über HTML und XML bis hin zum *semantic web*. In den 1960er Jahren ermöglichte zunächst die *Generalized Markup Language* (GML) von IBM ein einfaches Taggen von Dokumenten, das heißt also die Zuordnung basaler Ordnungsmerkmale (vgl. McKim 2017; Übers. OM), durch die technische Systeme Dokumente bereits in einfacher Form nach nützlichen Informationen analysieren („parsen“) konnten, was diesen eine erste semantische Dimension verlieh. Die Auszeichnungssprache stellte zudem eine Form der Standardisierung dar, über die sich Inkompatibilitäten zwischen Anwendungen und technischen Systemen überbrücken ließen, insofern die *Markup Language* über ein generisches Protokoll zwischen jenen Anwendungen und Systemen vermitteln kann (vgl. Hui 2016, S. 60).

Mit der Entwicklung der *Hypertext Markup Language* (HTML) und dem damit verbundenen System einer Metadatenkennzeichnung konnten schließlich grundlegende Metadaten wie Titel, Bilder und Hyperlinks unterschieden werden. HUI zufolge ist HTML jedoch nach wie vor eine schwache Auszeichnungssprache, da sie nur diese grundlegenden

³² HUI weist darauf hin, dass der in der Informatik stark konnotierte Terminus der *Ontologie* auch philosophisch bereits vereinnahmt ist (vgl. Hui 2016, S. 34).

Metadateninformationen maschinell verarbeitbar macht, das ‚Lesen‘ der Inhalte der damit verbundenen Dokumente aber nach wie vor allein dem menschlichen Lesenden überlässt (vgl. McKim 2017; Übers. ChatGPT/Anpassungen OM). HUI geht anschließend der Entwicklung immer komplexerer Sprachen wie der *eXtensible Markup Language* (XML) nach, die eine zunehmend größere Objektivierung („objectification“) von Daten erlaubt (Hui 2016, S. 67). Damit ausgezeichnete Objekte können bereits umfänglicher auch vom technischen System ‚gelesen‘ und semantisch analysiert werden. Diese Entwicklungen münden schließlich in der Idee des *semantic web* (vgl. Berners-Lee 2009b): „Berners-Lee and his collaborators proposed the idea of the semantic web as a place where, they envisaged, all objects are represented by standard ontologies. These ontologies, based on XML syntax, regulate the semantic meaning of the objects in a way that enables machines to understand and manipulate data“ (Hui 2016, S. 68). Im *semantic web* wird dabei nicht nur den Objekten eine Identität zugewiesen, sondern auch ihren Teilkomponenten und Prädikaten, die dadurch ebenfalls manipulierbar und kontrollierbar werden (ebd., S. 68). Tim BERNERS-LEE stellt sich das *semantic web* als eine Vernetzungsstruktur vor, in der letztlich nicht nur die „Formen“ digitaler Objekte maschinenlesbar sind, sondern auch ihr semantischer Gehalt, der zuvor nur für menschliche Lesende bedeutungsvoll war (McKim 2017, o. S.; Übers. ChatGPT/Anpassungen OM). Das *semantic web* stellte HUI zufolge einen wesentlichen Konkretisierungsschritt in der Herausbildung digitaler Objekte dar und in der Konzeption dieser Studie einen wichtigen Schritt im Prozess der zunehmenden Strukturierung und des (innertechnischen) Semantischwerdens des generischen digitalen Möglichkeitsraums, der in heutigen Weiterentwicklungen, in etwa im Rahmen von Natural Language Processing und Machine Learning, eine Fortführung erfährt (vgl. Abschnitt 5.2.3).

Deutlich wird in diesem Konkretisierungsprozess des digitalen Objekts aber auch, was SIMONDON als Entwicklung einer *technischen Einstellung* diskutiert hat (vgl. Abschnitt 3.1): Nur als konkrete, standardisierte und vernetzbare technische Objekte werden diese auch allgemein *justierbar*, *modifizierbar* und potentiell *gestaltbar*. Modifizierbarkeit und damit Individualisierung und Gestaltung wird erst auf Grundlage von *Standardisierung* und auf Basis einer standardisierten Strukturierung und Vernetzung technischer Objekte möglich (vgl. Simondon 2012, S. 231). Insgesamt ist zu verzeichnen, dass es Menschen beim Umgang mit digitaler Technik heute nicht mit ‚Spannungsunterschieden‘ bzw. Bits und Bytes zu tun haben, sondern mit schon tiefgreifend objektivierten, semantisch erschlossenen und stets auch weiter objektivier- und vernetzbaren digitalen Objekten. Menschen haben es also mit *konkreten* digitalen Objekten zu tun. Auch diese sind weiterhin manipulierbar und adaptierbar, aber im alltäglichen Gebrauch in vielfacher Weise bereits vorstrukturiert, bis dahin, dass sie Menschen im sogenannten *Internet der Dinge* als computerisierte, vernetzte Alltagsgegenstände – vom Smartphone bis zum Kühlschrank – begegnen. In Abschnitt 3.4 soll dieses Verhältnis zwischen einem abstrakten, nicht sichtbaren ‚Inneren‘ jener digitaltechnischen Objekte und ihrem konkreten, greifbaren Äußeren als ein weiteres Spannungsfeld digitaler Technik entfaltet werden.

Beziehungen zwischen digitalen Objekten und dem digitalen Milieu entstehen bei HUI vornehmlich durch logische Verknüpfungen, vollzogen werden diese durch Algorithmen: „A digital object’s relation to other digital objects will increase through logical inferences [...]. Networks are created among the digital objects being actualized according to certain parameters and algorithms“ (Hui 2016, S. 26). Schließlich sind es also die algorithmischen Vollzüge, durch die Daten miteinander verknüpfbar werden und die digitale Strukturen zu relationalen, bereits vorstrukturierten Gefügen machen. Algorithmen sind es aber zugleich auch, die einen Computer überhaupt „zum Laufen bringen“, ohne sie gäbe es „keine Programme, keine Software, keine Anwendersysteme“ und ohne „Algorithmen wäre der Computer nur ‚Hardware‘, ein ziemlich nutzloser Haufen ‚harten‘ elektronischen Schrotts“ (Ziegenbalg/Ziegenbalg/Ziegenbalg 2016, S. 1). Im Folgenden werden die dem Algorithmus inhärenten *performativen* Eigenschaften, die vielfach auch mit seinen rekursiven und kontingennten Dimensionen einhergehen, näher in den Blick genommen. Im Zuge der hier vorgenommenen Konturierung von Ambivalenzen digitaler Technik steht dabei im Fokus, wie durch Algorithmen *Unbestimmtheitsräume* entstehen, die mit der klassischen Auffassung des Algorithmus als Objektivierung eindeutiger Input-Output-Routinen in einem Spannungsfeld stehen.

3.3 Algorithmen zwischen Bestimmtheit und Unbestimmtheit

Unter einem Algorithmus ist ein allgemeines und nach schematischen Regeln organisier tes Rechenverfahren zu verstehen. In ihrem Einführungswerk *Algorithmen* bezeichnen CORMEN ET AL. den Algorithmus als „eine wohldefinierte Rechenvorschrift, die eine Größe oder eine Menge von Größen als Eingabe verwendet und eine Größe oder eine Menge von Größen als Ausgabe erzeugt. Somit ist ein Algorithmus eine Folge von Rechenschritten, die die Eingabe in die Ausgabe umwandeln“ (Cormen et al. 2013, S. 5). Im Unterschied zu Programmen bzw. Software sind Algorithmen abstrakter zu verstehen, nämlich als „von der Notation der Programmiersprache abstrahierte Programme“ bzw. „mathematische Modelle“, die es „erlauben, Eigenschaften von Programmen unabhängig von der verwendeten Symbolsprache zu erfassen“. Algorithmentheorie erweist sich damit Sybille KRÄMER zufolge als „elementare Voraussetzung der Theorie der Programmierung“ (Krämer 1988, S. 164). Während der Terminus Algorithmus bis Anfang des 20. Jahrhunderts noch für jegliche „Technik des Rechnens“ (Wadephul 2020, S. 57) stand, ist er heute untrennbar mit Vorstellungen vom Computer und der Computertechnik verbunden und bestimmt inzwischen in nicht unerheblichem Maße öffentliche sowie akademische Diskurse zum digitalen Wandel (vgl. Bunz 2017, S. 11–39; Stalder 2017, S. 164–202; Zweig 2019). Dabei scheint der Algorithmusbegriff geradezu „paradigmatisch für das Ganze des computertechnischen Systems“ (Burkhardt 2017, S. 57) zu stehen, nicht selten gilt er heute als Pars pro toto für „Digitalität“ schlechthin (Sprenger 2020, S. 37).

Algorithmen als Routinen und ihre Grenzen

Werner RAMMERT skizziert Algorithmisierung als *zeichenbasierte* Ausprägung der Technisierung. Dabei können Handlungen, Prozessabläufe oder Zeichenprozesse dann als „technisiert“ gelten, wenn sie „einem festen Schema folgen, das wiederholbar und zuverlässig erwartete Wirkungen erzeugt“ (Rammert 2016, S. 10 f.). Während RAMMERT bezüglich der Technisierung im Rahmen menschlicher Handlungen von *Habitualisierung* spricht, beispielsweise wenn körperliche Bewegungen, wie z. B. einstudierte Tanzbewegungen, einem bestimmten, wiederholbaren Schema unterworfen werden und damit „ohne Bewusstsein quasi-automatisch“ ablaufen können, so vollzieht sich Technisierung im Rahmen von *Mechanisierung*, wenn sich Technisierungsprozesse in der „Konstruktion und Kombination von physischen Dingen zu Maschinen und komplexen Anlagen“ realisieren, beispielsweise wenn Mechaniken des Drehens, FräSENS usw. auf Werkzeugmaschinen übertragen werden. Dagegen meint Algorithmisierung eine Schematisierung von „Techniken der Zeichenverarbeitung“, bei denen Anweisungen in „einfachste und eindeutige Befehle“ zerlegt werden, „die zu Programmen für eine sequentielle Problemabarbeitung zusammengefasst werden“ (ebd., S. 11). In dieser Deutung wird mit dem Algorithmusbegriff eine Technikvorstellung verknüpft, die Technik als Mittel zur Sicherung eindeutiger Wirkzusammenhänge und Ereignisfolgen begreift und dadurch eine Abtrennung des *Verfügens* vom *Begründen* ermöglicht, die der Entlastung des Menschen dient (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Explizierbarkeit und Eindeutigkeit von Problemlöseverfahren und Handlungsschemata, die in dieser Studie als *Routinen* bezeichnet werden, sind für Algorithmen konstitutiv und manifestieren sich in den Prinzipien der *Elementarität*, *Determiniertheit*, *Allgemeinheit* und *Endlichkeit*, die für Sybille KRÄMER den „intuitiven“ Algorithmusbegriff kennzeichnen (Krämer 1988, S. 159). Demnach basieren Algorithmen auf a) der Zerlegung eines komplexen Prozesses in Grundoperationen, die selbst nicht weiter zerlegbar sind (Elementarität), b) der schematischen Festlegung der Reihenfolge und des Bearbeitungsmodus von Grundoperationen, deren sklavische Einhaltung (der Algorithmus als „Rechenknecht“) zentral für die Performanz des Algorithmus ist (Determiniertheit), c) auf allgemeinen Formulierungen, welche die Algorithmisierung ganz unterschiedlicher Objekte sowie ganzer Problemklassen statt nur einzelner Problemlösungen erlaubt (Allgemeinheit), sowie d) auf der Formulierung des Algorithmus mittels eines begrenzten Zeichenvorrats, der in endlicher Zeit abgearbeitet werden kann (Endlichkeit) (ebd., S. 159 f.). Anweisungen für Zeichenoperationen, die diese Merkmale aufweisen, können als algorithmisierbare Operationen bezeichnet werden (vgl. ebd., S. 160).³³

³³ Dabei ermöglichen Algorithmen prinzipiell die Manipulation aller möglichen Arten von Objekten, auch wenn die mathematische Theorie des Algorithmus sich auf solche beschränkt, die sich auf *Zeichenreihen* beziehen. Zeichenreihen sind endliche lineare Symbolfolgen aus Einzelzeichen bzw. Buchstaben, mit denen Wörter gebildet werden. Ein solches Alphabet könnte auch mit einem einzigen Buchstaben auskommen, aus dem unterschiedliche ‚Wörter‘ gebildet werden können, die wiederum mit natürlichen

Wird ein algorithmisierbarer Vorgang unter dem Blickwinkel seines „Anfanges und seines Resultates“ betrachtet, „so zeigt er sich als eindeutige Umwandlung von Anfangswerten in Endwerte aufgrund von Transformationsregeln“, die „zueinander in der Relation einer Abbildung [stehen], wobei der Algorithmus die Vorschrift ist, die den Elementen der Menge A bestimmte Elemente der Menge B zuordnet“ (Krämer 1988, S. 188). Damit erweist sich der Begriff des Algorithmus als äquivalent zum Begriff der *berechenbaren Funktion*, denn letztere sind ja im mathematischen Sinne nichts anderes als explizierbare Zuordnungsregeln, mit denen „für jedes Argument in endlich vielen Schritten“ (ebd., S. 163) ein entsprechender Funktionswert ermittelt werden kann. Dabei waren es insbesondere die Vorstöße der Mathematik zu Beginn des letzten Jahrhunderts, die die Algorithmentheorie für die Computertechnik relevant machten. So stellte insbesondere die *Präzisierung* des Algorithmusbegriffs in den 1920er Jahren eines der zentralen mathematischen Probleme dar, in deren Folge der von KRÄMER als intuitiv bezeichnete und oben dargestellte Algorithmusbegriff (s. o.) reformuliert wurde. Die Präzisierung des Algorithmusbegriffs entwickelte sich entlang der Frage *berechenbarer* Funktionen. Berechenbarkeit wurde in der Mathematik bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts im Sinne von „herleitbar“ bzw. „durch einen Kalkül ermittelbar“ oder „maschinell ermittelbar“ verstanden (Ziegenbalg/Ziegenbalg/Ziegenbalg 2016, S. 218). Der Terminus *berechenbar* wurde damit synonym zum Begriff *algorithmisierbar* verwendet. Mit dem Versuch der Präzisierung des Algorithmusbegriffs wurde jedoch näher bestimmt, was in der Mathematik als berechenbar gelten kann. Um die Begriffe von Algorithmisierbarkeit und Berechenbarkeit präziser zu fassen, müssen beide mathematisch formuliert, das heißt mittels mathematischer Methoden zugänglich gemacht werden. Die Frage lautete also: „Was soll es heißen, dass eine Funktion natürlicher Zahlen berechenbar ist?“ (ebd., S. 218; H. i. O.).³⁴

Im Hinblick auf die Frage der Berechenbarkeit war die oben skizzierte intuitive Beschreibung des Algorithmus dann nicht mehr ausreichend, als bewiesen werden sollte, dass ein Problem durch *keinen* Algorithmus zu lösen ist (vgl. Krämer 1988, S. 158). Zentrale Bedeutung in der Beweisführung zur Konturierung berechenbarer Funktionen und damit zur Präzisierung des Algorithmusbegriffs nahm Kurt GÖDELS im Jahr 1931 veröffentlichter Unvollständigkeitsbeweis ein. In seinem bedeutenden Aufsatz *Über formal*

Zahlen 0, 1, 2 identifiziert werden können. Es ist dabei unerheblich, welches Alphabet einem Algorithmus zugrunde liegt, denn Alphabete, die algorithmisierbar sind, sind auch immer arithmetisierbar, lassen sich also mittels natürlicher Zahlen und arithmetischer Regelsymbole ausdrücken (vgl. Krämer 1988, S. 161).

³⁴ Zu Beginn des 20. Jahrhunderts widmete sich eine Reihe von Logikern und Mathematikern der Frage nach der Berechenbarkeit und der Präzisierung des Algorithmusbegriffs: Dazu gehörten (in alphabetischer Reihenfolge) Alonzo CHURCH, Kurt GÖDEL, Steven C. KLEENE, Andrej A. MARKOFF Junior, Emil POST und Alan TURING (vgl. Ziegenbalg/Ziegenbalg/Ziegenbalg 2016, S. 218). Zentral waren vor allem die Arbeiten Kurt GÖDELS, Alan TURINGs und Alonzo CHURCHs. Ihre Überlegungen zur Berechenbarkeit basierten dabei auf jeweils unterschiedlichen Grundkonzeptionen. GÖDEL legte in diesem Zuge das Konzept der *rekursiven Funktionen* zugrunde, TURING das Konzept einer „primitiven abstrakten Maschine“, die heute unter dem Namen *Turingmaschine* bekannt ist, und CHURCH das Konzept des *Lambda-Kalküls* (ebd., S. 218).

unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I zeigte GÖDEL (1931), dass es nicht möglich ist, die Widerspruchsfreiheit der Arithmetik ausschließlich mit den „systemeigenen“ (Krämer 1988, S. 153) Mitteln der Arithmetik zu beweisen. Ein solcher Beweis wäre nur möglich, wenn er sich *außerhalb* des arithmetischen Kalküls selbst ableiten ließe (vgl. ebd., S. 152 f.), ein solcher Beweis ließe sich also nur mit Mitteln führen, die außerhalb der für die Arithmetik jener Zeit bereits entwickelten formallogischen Systeme lägen. Ein solches formallogisches System war zuvor von Alfred North WHITEHEAD und Bertrand RUSSEL in ihrer *Principia Mathematica* (PM) etabliert worden (vgl. Whitehead/Russell 1927). Die PM zielte darauf ab, mathematische Aussagen weitgehend aus einigen wenigen logischen Grundbegriffen, Axiomen und Inferenzregeln der symbolischen Logik herzuleiten.

Ziel des GÖDEL'schen Beweises war es, einen Beitrag zum für die Mathematik des frühen 20. Jahrhunderts zentralen *Entscheidungsproblem* zu leisten. Die Arbeit am Entscheidungsproblem befasste sich mit der Suche nach formallogischen Regelsystemen, die es erlauben, mit einer endlichen Anzahl von Schritten über die Richtigkeit oder Falschheit einer als logisches Kalkül darstellbaren Behauptung zu entscheiden (vgl. Krämer 1988, S. 153). Das Entscheidungsproblem kann damit als die Suche nach einem Algorithmus bezeichnet werden, der alles logische Schlussfolgern auf Berechnungen zu reduzieren vermag (vgl. Hui 2016, S. 195). GÖDEL bezog sich mit seinem Beweis auf die Überlegungen von David HILBERT, der zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Mathematik neu zu begründen und auf „sichere Füße“ zu stellen versuchte (Krämer 1988, S. 140). HILBERT ging davon aus, dass es möglich war, formale Verfahren zu finden, die in der Lage waren, „jedes mathematische Problem zu lösen oder seine Unlösbarkeit nachzuweisen“ (ebd., S. 140). HILBERTS Hoffnung bestand darin, durch die Überführung mathematischer Theorien in kalkülisierbare Axiomensysteme wahre mathematische Aussagen *durch rein syntaktisches Operieren* innerhalb dieser Kalküle generieren zu können (vgl. ebd., S. 140). Dem liegt die Annahme zugrunde, dass für den Bereich der kalkülisierbaren Logik Algorithmen existieren, die „von jedem beliebigen kalkülierten Ausdruck zu entscheiden gestattet, ob dieser Ausdruck allgemeingültig bzw. erfüllbar oder eine Kontradiktion ist“ (ebd., S. 153). GÖDEL konnte durch seinen *Unvollständigkeitbeweis* nachweisen, dass kein Algorithmus existiert, mit dem sich für jede arithmetische Aussage in endlich vielen Schritten zeigen lässt, ob diese richtig oder falsch ist, dass es also stets Aussagen gibt, deren Richtigkeit mit den Mitteln formallogischer Regelsysteme nicht nachzuweisen sind, die mit diesen Mitteln also *unentscheidbar* bleiben.

Die Sätze von Kurt GÖDEL zur *Unvollständigkeit* sowie von Alonzo CHURCH zur *Unentscheidbarkeit* zeigten, dass sich keine Maschine konstruieren lässt, die „alle wahren Sätze einer Theorie herzuleiten und über die Ableitbarkeit jedes vorgelegten Satzes zu entscheiden“ vermag (Krämer 1988, S. 180). Dafür wäre nämlich ein „Heraustreten“ aus diesem System notwendig, Maschinen ist ein solches Heraustreten jedoch nicht möglich, das zeige sich daran, dass „ein Satz, den eine Maschine produziert, [...] nicht zugleich ein Satz *über* die Maschine sein“ kann. Zwar ist es möglich, *innerhalb* des Maschinenprogramms unbegrenzt Modifikationen einzugeben, diese bleiben jedoch dem Referenz-

rahmen des Programms verhaftet, bleiben also „im Programm angelegt“ (Krämer 1988, S. 180; Herv. OM). HOFSTADTER hatte argumentiert, dass Programme sich selbst modifizieren können, diese Möglichkeit aber von Anbeginn im Programm angelegt sein müsse (vgl. Hofstadter 2008, S. 511) und so nicht als „Sprung aus dem System hinaus“ (Krämer 1988, S. 156) gelten kann. So könne ein Computerprogramm sich zwar selbst modifizieren, „aber seinen eigenen Befehlen zuwiderhandeln kann es nicht, sondern höchstens einige seiner Teile umändern, indem es seinen eigenen Befehlen gehorcht“ (Hofstadter 2008, S. 512; H. i. O.). KRÄMER bezeichnet die Fähigkeit, „aus Systemen herauszutreten“ als „Phantasie“. In diesem Sinne lägen die „Grenzen der Formalisierbarkeit“ in den Beschränkungen „eines mechanisch verfahrenden“, jedoch „phantasielosen Verstandes“ (Krämer 1988, S. 181). Menschliche Vernunft manifestiere sich dagegen nicht nur „darin, einer Regel folgen, sondern auch darin, eine Regel gegebenenfalls außer Kraft setzen zu können“, denn ohne die Fähigkeit, Regeln außer Kraft zu setzen, könnten Menschen formalisierte Systeme gar nicht erst entwickeln (ebd., S. 181). Die GÖDEL'schen Sätze gehören zu den wichtigsten mathematischen und philosophischen Erkenntnissen des 20. Jahrhunderts, da sie die bis heute gültigen Grenzen der Formalisierbarkeit und Algorithmisierbarkeit markieren, und damit auch die formalen und logischen Grenzen der Bestimmbarkeit, die durch Computertechnik möglich ist (vgl. Ziegenbalg/Ziegenbalg/Ziegenbalg 2016, S. 217).

Dass aber die Grenzen der Formalisierung sowie jener algorithmischen ‚Phantasielosigkeit‘ durch die fortschreitende technische Entwicklung zunehmend flexibler erscheinen, zeigt sich nicht zuletzt im Feld des Machine Learnings bzw. der Künstliche-Intelligenz-Forschung. Durch probabilistische, rekursive, auf Feedback- und Rückkopplungsprozessen basierende Rechenprozesse manifestieren Algorithmen eine ‚quasi-reflexive‘ Logik und „Eigendynamik“ (Distelmeyer 2021, S. 7), welche die Systemgrenzen, aus denen algorithmische Prozessierungen nicht fdheraustreten können, heute dennoch als immens *erweitert* erscheinen lassen. Diese Entwicklungen zeigen, dass Algorithmen gerade nicht nur Ausdruck von Bestimmtheit und der Explizierung eindeutiger Input-Output-Relationen sind, sondern dass in ihnen Dynamiken entstehen, die auf die Unbestimmtheit oder zumindest schwere Bestimmbarkeit algorithmischer Systeme deuten. Dies ist zunächst auf die allgemeine *Performativität* von Algorithmen zurückzuführen, in einem weiteren Schritt aber auch auf ihre zunehmende *Autoadaptivität* und daran anknüpfend auf ihre *Rekursivität* und *Kontingenz*.

Performative und autoadaptive Algorithmen

Als *performativ* können Algorithmen zunächst deshalb gelten, da sie das, was sie repräsentieren, stets auch *vollziehen*: „Algorithms do things, and their syntax embodies a command structure to enable this to happen“ (Goffey 2008, S. 17). So gehört die Konstruktion *ausführbarer Modelle* bzw. „executable models“ (Lodi/Martini 2021, S. 898) – im Unterschied zur Mathematik – zu den zentralen Zielen der Informatik.³⁵ Algorithmische Vollzüge lassen sich allerdings nicht immer als lineare Ausführungen eindeutiger Input-Output-Relationen begreifen, sondern in ihnen können auch Abweichungen sowie Emergenzen entstehen, die aus der wechselseitigen Beeinflussung unterschiedlicher technischer wie menschlicher Aktanten resultieren. Zur konzeptionellen Verortung solcher algorithmischen Unbestimmtheitsbereiche eignet sich wiederum die bereits skizzierte *Ambivalenz des Performativitätskonzepts* (vgl. Abschnitt 2.4), wonach Performativität nicht nur in der Iteration und damit in der regelhaften Reproduktion von Routinen ihren Ausdruck findet, sondern auch für deren *Alteration* sorgen kann, insofern Iterationen stets auch *Bedeutungsverschiebungen* implizieren können (Derrida 2020, S. 80; vgl. auch Krämer 2004b, S. 16). Daran anknüpfend erweist sich auch das Versprechen der Algorithmen, eine „identische Iteration“ herzustellen sowie „einfache Modellierungen“ und damit „präzise Vorhersagen“ zu ermöglichen (Roberge/Seyfert 2017, S. 24), als brüchig. Zwar unterstützen Algorithmen als Routinen die „Ausführung repetitiver Aufgaben“ und verringern dadurch den „kognitiven und affektiven Aufwand“ des Menschen, dem es dadurch möglich wird, „Aufmerksamkeit auf wichtigere und vielleicht interessantere Aufgaben zu richten“ (ebd., S. 23; vgl. zu Expertensystemen Abschnitt 2.2.2). Innerhalb algorithmischer Iterationen entstehen jedoch auch „Abweichungen von den mathematischen und technischen Skripts“, die beispielsweise aus „Konstruktionsfehlern, mangelhafter Ausführung, chaotischem Ablauf oder aus wechselseitigen Auswirkungen in der Interaktion verschiedener algorithmischer und nicht-algorithmischer Aktanten“ resultieren können (Roberge/Seyfert 2017, S. 23). Im „wirklichen Leben“, so Jonathan ROBERGE und Robert SEYFERT, „schlagen Algorithmen häufig fehl“ oder ihre „Interaktionen und Operationen [sind] chaotisch“ (ebd., S. 25).

In diesem Kontext ist es ROBERGE und SEYFERT zufolge auch nicht zu weit hergeholt, Algorithmen in Analogie zu menschlichen *Praktiken* zu deuten. Dafür spricht u. a., dass die Genese von Algorithmen *sozial situiert* und damit offen für „Aushandlungen, Abweichungen, Fragilität und eine Neigung zum Scheitern“ sein kann, Dabei sind Algorithmen weniger als „Codes“ denn als „Realisierungen sozialer Relationen zwischen diversen Akteuren und Aktanten“ (Roberge/Seyfert 2017, S. 23) zu deuten – so beispielsweise im Kontext der Programmierung. Gerade die Genese bzw. Entwicklung von Algorithmen erfolgt Rob KITCHIN zufolge in der Regel auf Grundlage tentativer Praktiken, also durch

³⁵ In Anknüpfung daran liegt für Gabriele GRAMELSBERGER die epistemische Bedeutung von Algorithmen vor allem darin, dass sie sowohl *symbolischer* als auch *indexikalischer* Natur sind, denn sie fungieren sowohl als Repräsentationsmedien, in denen Codierungen dargestellt werden, als auch als Anweisungen, über die Code ausgeführt werden kann (vgl. Gramelsberger 2010, S. 249).

“trial and error, play, collaboration, discussion, and negotiation. They are teased into being: edited, revised, deleted and restarted, shared with others, passing through multiple iterations stretched out over time and space” (Kitchin 2017, S. 18) – eine Perspektive, die insbesondere im Rahmen meiner Auseinandersetzung mit der Computersimulation nochmals aufgegriffen werden soll (vgl. Abschnitt 5.2.6). Anders als ihr Ruf ist Programmierung im Sinne der Entwicklung maschinentauglicher Algorithmen daher auch nicht als ‚trockene‘ technische Übung zu verstehen, wie Matthew FULLER es ausdrückt, sondern als “live process of engagement between thinking with and working on materials and the problem space that emerges” (Fuller 2008a, S. 10). Genau diese Prozesse des spielerischen und tentativen Herantastens und intersubjektiven Verhandelns macht die Genese von Algorithmen zugleich aber zu einer schwer *bestimmbar*en Aufgabe. Hinzu kommt, dass Algorithmen heute vor dem Hintergrund des *maschinellen Lernens* längst nicht mehr allein von Menschen hervorgebracht werden, sondern auch von technischen Systemen selbst.

Im Kontext eines klassischen Algorithmusbegriffs werden, wie erwähnt, Algorithmen als Zuordnungsregeln verstanden, die die Überführung eines Inputs in einen Output mehr oder weniger eindeutig *bestimmen* (s. o.). Für die automatisierte Datenanalyse beispielsweise kamen hierfür in der Regel logikbasierte symbolische Systeme zum Einsatz, durch die ein Input nach einer dedizierten Abfolge von Rechenoperationen in einen Output überführt und so *vorformulierbare* Beziehungsgefüge in Daten sichtbar gemacht werden können (vgl. Schöch 2017, S. 289). Für solche logikbasierten Systeme³⁶ müssen Programmierinnen und Programmierer Algorithmen *explizit entwickeln* und dabei festlegen, „wie aus bestimmten Symbolstrukturen neue abgeleitet werden“ (Dorffner 1991, S. 217). Hierbei geht es in der Regel darum, konkrete, explizierbare Probleme zu lösen (vgl. Ziegenbalg/Ziegenbalg/Ziegenbalg 2016, S. 304) und Algorithmen für bekannte, und daher explizierbare, Problemstellungen zu generieren.

Es existieren jedoch nicht für alle Fragestellungen bereits Zuordnungsregeln bzw. ein Zusammenhang von Input und Output kann nicht immer eindeutig formuliert werden (vgl. Schöch 2017, S. 289). In solchen Fällen kann u. a. auf Formen des konnektionistisch bzw. subsymbolisch³⁷ konnotierten (vgl. Misselhorn 2022, S. 21–25; vgl. auch Dorffner

³⁶ In symbolischen Systemen, oder auch sogenannter symbolischer KI, werden Aufgaben durch das Anwenden logischer Regeln gelöst, sie eignen sich daher nur für eingrenzbare Aufgabenstellungen. Die abzubildenden Zusammenhänge werden dabei in abstrahierte, mit abstrakten Symbolen darstellbare Modelle überführt. Die Genese solcher Systeme erfolgt nach einem Top-down-Ansatz, das heißt auf Grundlage von Menschen programmiert logischer Regelbeschreibungen, nur so können diese Systeme Probleme lösen und Entscheidungen treffen (vgl. Luber 2024b, o. S.).

³⁷ In subsymbolischen Systemen werden, anders als in symbolisch operierenden Systemen, die abzubildenden Zusammenhänge nicht durch in abstrakte Symbole gefasste logische Regeln vorstrukturiert, sondern die technischen Systeme sollen diese Zusammenhänge selbstständig aufgrund vorliegender Daten entwickeln. Die Genese subsymbolischer Systeme verfolgt daher einen Bottom-up-Ansatz (vgl. Luber 2024a, o. S.).

1991, S. 144–164; Ertel 2021, S. 10 f.), maschinellen Lernens zurückgegriffen werden. Konnektionistische Ansätze gehen dabei üblicherweise mit der Entwicklung Künstlicher Neuronaler Netze einher bzw. bauen auf neuronalen Architekturen auf, deren Form der Informationsverarbeitung als „*subsymbolisch*“ bezeichnet wird (Lyre 2020, S. 14). Neuronale Architekturen haben die traditionelle Informatik insofern verändert, als dass sie seit den 2010er Jahren die Rede von der *Künstlichen Intelligenz* wieder populär gemacht haben. Dieses „Wiedererstarken einer ‚neuen KI‘“ ist dabei insbesondere auf den Erfolg von Ansätzen zurückzuführen, die auf sogenanntem *Deep Learning* basieren (ebd., S. 20; vgl. auch Ertel 2021, S. 13).

Insgesamt fungiert der Terminus des *maschinellen Lernens* als Sammelbegriff für Computeralgorithmen, die in der Lage sind, ihre Strukturen bzw. ihr ‚Programm‘ im Zuge von „*Autoadoptionsprozessen*“ (Harrach 2014, S. 22)³⁸ selbstständig zu verändern. Algorithmische Autoadoptionsprozesse zielen dabei darauf ab, *Modelle* zu errechnen und zu optimieren, die in der Lage sind, „die einer Datenmenge zugrundeliegende Struktur [zu] beschreiben“ (Kaminski 2020, S. 156).³⁹ Unterschieden werden können autoadaptive algorithmische Systeme u. a. durch die unterschiedlichen ‚Lernstrategien‘, wie sie in etwa der Genese von *Entscheidungsbäumen*,⁴⁰ *Künstlichen Neuronalen Netzen* oder *evolutiönen Algorithmen* unterliegen (vgl. ebd., S. 156).⁴¹ Autoadoptionsprozesse im Rahmen von Machine Learning lassen sich dabei insbesondere nach dem Grad der für ihre Genese notwendigen *Explizierung* und Vorab-Bestimmung unterscheiden, also danach, wie viele Vorgaben die algorithmischen Systeme vor einem Autoadoptionsprozess erhalten müssen, um ein entsprechendes Modell zu errechnen. HARRACH unterscheidet in seiner Studie insbesondere zwischen zwei Ausprägungen maschinellen Lernens, das *zielorientierte* und das *ergebnisoffene* („neugierige“) Lernen (Harrach 2014, S. 29). Bei zielorientierten Prozessen handelt es sich um „vorstrukturierte und optimierende“ Lernprozesse, die „vorformulierte Probleme lösen“ (ebd., S. 276 f.). Demgegenüber sind ergebnisoffene Verfahren maschinellen Lernens solche, die nur wenige Vorgaben sowie einen „signifikant zufälligen Anteil“ enthalten und so entsprechend erst im Nachhinein als „Konzepte“ interpretierbar sind (ebd., S. 277). Während beispielsweise *repräsentierende Entscheidungsbäume* stärker durch den Menschen vorstrukturierte Strategien maschinellen Lernens dar-

³⁸ Als *Autoadoptionsprozesse* bezeichnet Sebastian HARRACH maschinelles Lernen, um so den Übertrag des Begriffs des *Lernens* auf technische Systeme zu vermeiden (vgl. Harrach 2014, S. 22).

³⁹ Im Kontext der Wissenschaften kann ein solcher Zweck zum Beispiel sein, Signale im LHC zunehmend besser von einem Hintergrundrauschen zu unterscheiden (vgl. ebd., S. 155), in außerwissenschaftlichen Kontexten, wie dem Versicherungswesen, fiele hierunter beispielsweise die zunehmend treffgenauere Einteilung von Personen in bestimmte Risikoklassen (vgl. Kaminski 2020, S. 155).

⁴⁰ Entscheidungsbäume sind lernende Algorithmen, die als Klassifikatoren fungieren und Klassifikationen anhand vorgegebener Kriterien vornehmen (vgl. Harrach 2014, S. 52).

⁴¹ „Lernende“ algorithmische Systeme treten dabei häufig nicht als eigenständige technische Objekte in Erscheinung, sondern sind eingebettet in andere technische Systeme, wie Spracherkennungssysteme, medizinische Assistenzsysteme oder Empfehlungssysteme auf Verkaufsplattformen wie Amazon sowie in Systemen der vernetzten Großenforschung wie dem Large Hadron Collider (LHC) am CERN (vgl. Kaminski 2020, S. 154).

stellen, fallen in etwa Teile des sogenannten *evolutionären Lernens* und Autoadoptionsprozesse im Zusammenhang nicht vorstrukturierter *Künstlicher Neuronaler Netze* unter die offeneren Autoadoptionsprozesse, in denen maschinell lernende Artefakte „auf Basis besonders geringer Vorgaben systematisch auf Reize beziehungsweise Irritationen reagieren“ (ebd., S. 182).

Unter einer Vorstruktur – ein Begriff den HARRACH aus der Auseinandersetzung mit Martin HEIDEGGER entnimmt – versteht HARRACH die Rahmenbedingungen jener Autoadoptionsprozesse. HARRACH konzipiert dabei den HEIDEGGER'schen Begriff der „Vorstruktur“ (Heidegger 1967, S. 151) im Sinne einer maschinellen Vorstruktur, die für ihn einen zentralen Reflexionsbegriff im Kontext der Auseinandersetzung mit dem maschinellen Lernen darstellt (vgl. Harrach 2014, S. 207–209). Vorstrukturen können einerseits „strikte Vorgaben“ darstellen („zielorientiertes Lernen“) und dadurch Autoadoptionsprozesse auf eine spezifische Art und Weise festlegen und damit eher „vorformulierte Probleme lösen, indem sie klar definierte Ziele erreichen“. In der Regel nähern sie sich diesen Zielen auch auf Grundlage eines „im Vorhinein definierten Qualitätsmaßstabes“, dessen Bewertung entweder „Teil der Lernstrategie“ oder „dem Autoadoptionsprozess nachgelagert“ sein kann (Harrach 2014, S. 276). Als Beispiel für einen solchen zielorientierten Autoadoptionsprozess gelten HARRACH algorithmische Produktempfehlungen aufgrund eines vorherigen Einkaufsverhaltens. Bei der hier angewandten „Lernstrategie“ handelt es sich in der Regel um „Optimierungen“ unter Rückgriff auf stark vorstrukturierte „optimierende“ algorithmische Autoadoptionsprozesse, die diese als „zielorientiertes maschinelles Lernen“ (ebd., S. 276–277) kennzeichnen. Ergebnisoffene Autoadoptionsprozesse dagegen sind in geringerem Maße vorstrukturiert und enthalten, wie erwähnt, höhere zufällige Anteile, deren Interpretation allerdings nahezu „ausgeschlossen“ bleibt (ebd., S. 277).

Den Output, den ein solches autoadaptive System dann schließlich generiert, nennt HARRACH „Strukturvorschlag“ (Harrach 2014, S. 44). Nutzende des Einsatzes *ergebnisoffener* Autoadoptionsprozesse, die nach HARRACH eine „technische Form der Neugier“ präsentieren, können durch die daraus entstehenden Strukturvorschläge hinsichtlich möglicher Interpretationen „kreativ angeregt“ werden. Dafür benötigen Menschen jedoch mindestens „theoretisches oder heuristisches Wissen“, denn nur so können sie die Resultate der Autoadoptionsprozesse angemessen weiterverarbeiten (ebd., S. 277). Denn anders als im Fall zielorientierter Autoadoptionsprozesse können Strukturvorschläge in diesem Fall nicht im Sinne eines „Soll-Ist-Vergleich[s]“ oder auf Grundlage vorgesetzter „Nutzungswünsche“ evaluiert werden, denn Resultate kommen „in jeder Hinsicht unerwartet und unvorhergesehen“. Entsprechend eignen sich „neugierige“ algorithmische Autoadoptionsprozesse vor allem für Erkenntnisprozesse, „in denen eine Vorstrukturierung komplex oder nicht gewollt ist“ (ebd., S. 278). Erkenntnisfördernd wirken solche „neugierigen“ Autoadoptionsprozesse daher vor allem dann, wenn sie dafür genutzt werden, nach neuen bzw. bisher unbekannten Strukturvorschlägen zu suchen, wie dies im wissenschaftlichen Kontext u. a. im Proteindesign der Fall ist, wie noch zu zeigen ist (vgl. Abschnitt 5.2.4). Wie entsteht nun aber das Neue, Unerwartete und damit schwer Bestimmbare in algorithmischen Rechenprozessen?

Reflexivität, Rekursivität und Kontingenz als Ausdruck algorithmischer Unbestimbarkeit

Der zunehmende Mangel an Linearität solcher dynamischer, performativer und auch autoadaptiver algorithmischer Systeme ist für Yuk HUI Ausdruck eines Übergangs von einem mechanistischen zu einem post-mechanistischen Denken, das mit einer Abkehr von klassischen mechanistischen Technikkonzeptionen einhergeht und heute, wie bereits ausgeführt, mit der Evolution autoadaptiver technischer Systeme einen neuen Höhepunkt findet. In einem jüngeren Beitrag zur Bedeutung des Textgenerators ChatGPT argumentiert HUI, dass im gegenwärtigen philosophischen Diskurs allerdings auch die jüngeren Entwicklungen Künstlicher-Intelligenz-Techniken häufig noch aus der Perspektive einer mechanistischen Technikauffassung beurteilt werden (vgl. u. a. Hui 2023, S. 5). HUI zufolge werde dadurch aber der Möglichkeitsraum autoadaptiver, also „lernfähiger“ technischer Systeme verkannt (vgl. u. a. ebd., S. 4 f. und s. o.). Lineare Technikkonzeptionen zielen dabei vor allem auf die „Reproduzierbarkeit von Effekten“ (Kaminski 2020, S. 156) – ein Ereignis soll jeweils einen bestimmten kausalen Effekt produzieren, wie beispielsweise das Angehen des Lichtes nach dem Betätigen eines Schalters. Die dafür notwendigen Transformationsregeln bleiben dabei konstant, also immer, „wenn ein m als Input erfolgt, soll p als Output erfolgen, solange die Maschine funktioniert und nicht kaputt ist“ (ebd., S. 156). Die einer solchen Technikvorstellung unterliegende „mechanistische Erkenntnistheorie“ (Hui 2023, S. 5; Übers. OM) gründet also auf der Vorstellung, dass auf eine Ursache jeweils eine Wirkung folgt. Dieser Prozess lässt sich im Sinne eines *reverse engineering* schließlich auch umkehren, um so von einer Wirkung auf deren Ursache zu schließen, denn aufgrund der „Konstanz der Tranformationsregel“ kann die mit den technischen Vollzügen verknüpfte *Blackbox* zumindest prinzipiell „geöffnet“ und ihre technischen Vollzüge nachvollzogen werden (Kaminski 2020, S. 157).

Von einer nicht mehr klassischen, sondern *transklassischen* Technik (vgl. auch Günther 1963, S. 187) kann dagegen gesprochen werden, wenn die den technischen Vollzügen unterliegenden Transformationsregeln im Verlauf dieser Vollzüge *transformiert* werden (vgl Kaminski 2020, S. 157). Algorithmisch operierende digitale Systeme, wie wir sie heute vorfinden, erscheinen damit zunehmend als *transklassische Maschinen*, die sich, so skizzierte es seinerzeit Gotthard GÜNTHER, vor allem durch ihre Feedbackmechanismen auszeichnen: Die transklassische Maschine „reflektiert Information auf sich selbst durch einen sogenannten Rückkoppelungskreis“ (Günther 1963, S. 196). Feedback kann hier als Mechanismus gelten, der den Unterschied zwischen Output und erwartetem Output an das System zurückmeldet mit dem Ziel, sich selbst zu regulieren (vgl. Hui 2019, S. 123). Die transklassische Maschine ist im Gegensatz zur klassischen „archimedischen“ Maschine eine, deren Kern in der Informationsverarbeitung besteht, in dem zugleich ihr Steuerungs- und Selbstregulierungspotential liegt (vgl. Günther 1963, S. 184). Auch im Kontext der digitalen Technik haben wir es nach ROBERGE und SEYFERT heute nicht mit einzelnen, linear operierenden Algorithmen zu tun, sondern mit „unendlichen Ketten von Algorithmen [...], die sich wechselseitig steuern“ (Roberge/Seyfert 2017, S. 25). In diesem Sinne erscheint es durchaus sinnvoll, sich auch dem Algorithmusbegriff mit der Sprache der *Kybernetik* zu nähern, denn „Feedbackschleifen, Entscheidung qua Klassifika-

tion, fortlaufende Adaption und fortwährender Informationsaustausch sind ja allesamt Charakteristika rekursiver, quasi-zirkulärer Routinen, welche die nicht-lineare Entfaltung von Algorithmen kennzeichnen“ (ebd., S. 14 f.). Im Rahmen solcher maschineller Rückkopplungen findet etwas statt, das GÜNTHER als maschinelle Form der *Reflexion* beschreibt. GÜNTHER attestiert der transklassischen Maschine damit eine Art *reflexive Logik*, die er aus seiner Beschäftigung mit der reflexiven Logik HEGELS gewonnen hat (vgl. Hui 2019, S. 106 f.). Wie bereits erwähnt, stellte für Gotthard GÜNTHER der transklassische Maschinentypus seinerzeit noch ein „technisches Ideal“ (Günther 1963, S. 186) dar, denn „bis hinauf zum kompliziertesten Differentialanalysator“ verarbeiten jene Maschinen „nur gelieferte Informationen, aber sie produzieren keine“ (ebd., S. 187). GÜNTHER unterstreicht also nicht die verlässliche technische Routine, sondern die *Produktivität* und damit die Konstruktion des *Neuen* als Kernaufgabe der transklassischen Maschine. Daran anknüpfend skizziert Yuk HUI das Prinzip der *Rekursivität* als Kernprinzip solcher auf Rückkopplung und Feedback basierender Maschinen.⁴² So denkt auch HUI Rekursivität als technische Form der *Reflexivität*, durch die in nichtlinearen Bewegungen eine Vermittlung zwischen einer Entität und ihrer Umwelt erfolgt und durch die die Maschine sich schrittweise einem bestimmten Ergebnis, einem *Telos* annähert. Und genau diese schleifenförmig-rekursive Operativität der Maschinen ist es HUI zufolge, die diesen heute gemeinhin als ‚Intelligenz‘ attestiert wird (vgl. u. a. Hui 2023, S. 5).

Rekursion meint im allgemeinsprachlichen Gebrauch „selbstbezüglich oder auf sich selbst verweisend“ (Ziegenbalg/Ziegenbalg/Ziegenbalg 2016, S. 66). Von Rekursivität im übergeordneten Sinne kann auch gesprochen werden, wenn die Regeln, die eine Entität erzeugt haben, erneut auf diese angewandt werden (vgl. Hepp 2021, S. 32).⁴³ In seiner Schrift *Rekursivität und Kontingenz* (2016) bezieht sich Yuk HUI aber jenseits dieser allgemeinen Auffassungen von Rekursivität auch auf ihre mathematische Grundlagen, wie sie insbesondere in den Überlegungen Kurt GÖDELS zum Ausdruck kamen. Die in GÖDELS (1931) Aufsatz *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I* enthaltenen Konzepte rekursiver Funktionen bilden für HUI eine grundlegende mathematische Theorie für die Implementation allgemeiner Rückkopplungs- bzw. Feedbackmechanismen in Rechenmaschinen (vgl. Hui 2019, S. 108). Durch Leonardo di PISA (bekannt als „Fibonacci“) wusste GÖDEL bereits in jungen Jahren, dass Klassen von ganzen Zahlen rekursiv definiert werden können. Im 14. Jahrhundert hatte Fibonacci die sogenannten *Fibonacci-Zahlen* entwickelt: 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597 usw. In dieser unendlich wachsenden Zahlenfolge wird jedes Element durch die Summe der beiden vorherigen gebildet – mit Ausnahme der

⁴² Dabei geht es mir mit dem Hinweis auf HUIs Vorstellung von Reflexivität nicht darum, auf rekursiven Prozessen basierende technische Systeme als „reflexiv“ im Sinne menschlicher Reflexivität zu skizzieren, sondern Analogien aufzudecken, die möglicherweise für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb solcher Strukturen von Interesse sein könnten.

⁴³ Objekte sind also rekursiv, wenn sie sich selbst enthalten, eine sinnbildliche Repräsentation für dieses Prinzip ist beispielsweise eine russische Matroschka (Holzpuppe), die weitere Puppen der gleichen Art enthält (vgl. Krämer 1988, S. 165).

ersten beiden Zahlen, 1 und 2, die per Definition als Fibonacci-Zahl festgelegt werden (vgl. Hofstadter 2008, S. 171). Die Fibonacci-Zahlenfolge kann als rekursive Funktion bezeichnet werden, da es hier eine wohldefinierte Rechenvorschrift gibt, die es erlaubt, neue Zahlen aus vorhergehenden zu berechnen. Der Anfang der rekursiven Abfolge der Fibonacci-Zahlen (in diesem Fall die Zahlen 1 und 2) kann HOFSTADTER zufolge als „Päckchen Samen“ gedeutet werden, aus dem auf der Basis definierter Regeln „eine gigantische Pflanze wächst“ (ebd., S. 171). Dieses Bild des *organischen Wachstums*, so HOFSTADTER, erinnerte GÖDEL daran, dass die Theoreme der *Principia Mathematica* (PM) immer durch *formale Inferenzregeln aus früheren Theoremen* abgeleitet werden, ausgenommen der ersten Theoreme, die zu Anfang als Theoreme definiert und daher Axiome genannt werden. Diese bilden in der Analogie des organischen Wachstums den Samen.⁴⁴ Rekursivität als Grundlage eines avancierteren Algorithmusbegriffs steht demnach für die Fähigkeit digitaler Strukturen, zu einer komplexen algorithmisch organiserten Relationalität zu gelangen und sich damit *organischen* Organisationsformen anzunähern: „With the notion of recursivity and its realization in the mechanism of the Turing machine, it seems to be a decisive moment in the history of technology, one that assim-

⁴⁴ Im Kontext rekursiver Funktionen bedeutete dieses für GÖDEL, dass „alle Sorten unendlicher Klassen von Zahlen durch verschiedene Arten rekursiver Regeln definiert werden können“ (Hofstadter 2008, S. 174). In seinem Aufsatz von 1931 definierte GÖDEL rekursive Funktionen folgendermaßen: „Eine zahlentheoretische Funktion \emptyset heißt rekursiv, wenn es eine endliche Reihe von zahlentheoret. Funktionen $\emptyset 1, \emptyset 2, \dots, \emptyset n$ gibt, welche mit \emptyset endet und die Eigenschaft hat, daß (sic!) jede Funktion $\emptyset k$ entweder aus zwei der vorhergehenden rekursiv definiert ist oder aus irgend welchen der vorhergehenden durch Einsetzung entsteht oder schließlich eine Konstante oder die Nachfolgerfunktion $x+1$ ist“ (Gödel 1931, S. 179 f.). Bei solchen primitiv-rekursiven Funktionen handelt es sich um eine „Klasse von berechenbaren Funktionen, die man erhält, wenn auf bestimmte Stamm- bzw. Ausgangsfunktionen die Prozesse der Einsetzung und Rekursion angewendet werden“ (Krämer 1988, S. 166). In welchem Zusammenhang steht das Prinzip der Rekursion zur digitalen Technik bzw. Computertechnik? Alonzo CHURCH argumentierte in Rekurs auf TURINGs (1937) Aufsatz *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem* und Stephen KLEENES weiterführender Definition von GÖDELS Rekursionsprinzip, dass GÖDELS allgemein-rekursive Funktion als Äquivalent zu TURINGs Universeller Maschine gelten kann: Demnach ist das, was für TURING berechenbar ist, auch *rekursiv aufzählbar* (vgl. Hui 2019, S. 113). CHURCH definierte damit Rekursivität als konstitutives Merkmal berechenbarer, und in einem weiteren Sinne maschinenberechenbarer, Funktionen (vgl. Krämer 1988, S. 169). Maschinentauglich sind rekursive Funktionen aber erst dann, wenn sie nur so lange auf sich selbst angewandt werden müssen, „bis die gesuchte Größe erzeugt ist und der Prozeß (sic!) abbricht“. Bei maschinentauglichen rekursiven Prozessen muss im Gegensatz zu unendlich *zirkulären* Prozessen also sichergestellt sein, dass der Prozess „ausläuft“ (ebd., S. 165). Um das zu ermöglichen, muss sich die „Bedingung, an deren Existenz die Wiederanwendung der rekursiven Operation gebunden ist, bei jeder Wiederholung verändern (im Sinne eines Kleinerwerdens)“, und zwar so lange, „bis diese Bedingung ganz erlischt“ (ebd., S. 165). Denn kommt eine rekursive Funktion nicht zu einem Halt und verliert sich stattdessen in einer unendlichen Schleife, bis die Ressourcen zu ihrer Berechnung erschöpft sind, z. B. durch Speicherverbrauch bzw. die Ermüdung der physischen Maschine, so handelt es sich gerade nicht um eine entscheidbare bzw. berechenbare Lösung (vgl. Hui 2019, S. 113). Hier zeigt sich auch wieder die Physischheit und hardwaretechnische Dimension digitaler Technik als begrenzende Struktur für das prinzipiell als grenzenlos gedachte Konstrukt der rekursiv operierenden Turingmaschine.

lates the concept of the organic” (Hui 2016, S. 115). Als organisch kann dabei das gelten, was gegenüber dem statischen Objekt *stets im Werden* begriffen ist. Hier zeigt sich auch die Nähe von HUIs Argumentation zu Gilbert SIMONDONS Technikphilosophie (vgl. Abschnitt 3.1). Dabei deutet HUI Rekursivität als Prinzip, durch das mittels *innertechnischer* Transformation „Neues durch Rückgriff auf Bekanntes“ (Krämer 1988, S. 166) schrittweise aus dem technischen System selbst heraus erzeugt werden kann. HUI bezeichnet Rekursivität daher auch als “mechanism that allows novelty to occur, not simply as something coming from outside but also as an internal transformation” (Hui 2019, S. 138). Möglich wird dies HUI zufolge aber vor allem in der Verknüpfung von Rekursivität mit *Kontingenz* – eine Auffassung, die klassischen Technikkonzepten entgegensteht, in denen technische Routinenbildung gerade auf die *Beseitigung von Kontingenz* zielt (vgl. ebd., S. 138; vgl. auch Abschnitt 2.2).

Neben zahlreichen anderen rekurriert HUI in seiner Begründung des Zusammenhangs von Rekursivität und Kontingenz auch auf Gregory BATESONS Erkenntnistheorie, die BATESON selbst auch als “recursive epistemology” (Harries-Jones 1995, S. 4) bezeichnet hatte. Rekursivität steht für BATESON in enger Verknüpfung mit seinem Informationsbegriff, denn für ihn besteht Information aus „Unterschieden, die einen Unterschied machen“ (Bateson 1984, S. 123; Herv. OM). Erst also, wenn ein Unterschied in der Lage ist, einen *neuen* Unterschied zu erzeugen, kann Veränderung im Sinne neuer Information daraus hervorgehen. Information konstituiert sich damit aus immer wieder neu herzustellenden Unterschieden, die aus vorhergehenden Unterschieden resultieren, Information ist also selbst stets rekursiv (vgl. Hui 2019, S. 134 f.). Für BATESON entstehen aber wirklich *bedeutsame* Unterschiede erst durch die Integration von *Kontingenz* (vgl. Hui 2019, S. 132), ohne die nichts Neues entstehen kann: „Ohne das Zufällige gibt es nichts Neues“ (Bateson 1984, S. 181).

Im Hinblick auf die digitale Technik skizziert HUI daran anknüpfend Beispiele, die zeigen, inwiefern die Integration mathematischer Zufallsmechanismen der Produktion von Kontingenz in algorithmischen Vollzügen dient. In der Künstliche-Intelligenz-Forschung beispielsweise führten die offensichtlichen Grenzen von Modellen mit einer logikbasierten Semantik (s. o.) schließlich dazu, dass zunehmend auf stochastischen bzw. probabilistischen Konzepten basierende Modelle entwickelt wurden (vgl. Hui 2016, S. 138). In der KI-Forschung markiert diese Entwicklung auch den „Übergang von deterministischen zu probabilistischen Maschinen“ (Nida-Rümelin/Weidenfeld 2018, S. 47), bei der klassische symbolverarbeitende Rechentechniken, die auf formal-logischen Kalkülen basierten, von Ansätzen abgelöst werden, die algorithmische Systeme eher nach aus Natur und Evolution abgeleiteten Modellen konzipierten, darunter *neuronale Netze* und *evolutionäre Algorithmen* (vgl. Mainzer/Küchlin 2020, S. 1; Mainzer 2006, S. 873–874), die sich auch durch die Integration zufallsgesteuerter Mechanismen auszeichnen. Die Integration des Zufalls (“randomness”) in Algorithmen ist seit Jahrzehnten gängige Praxis, Zufallsalgorithmen wie Las-Vegas-Algorithmen oder Monte-Carlo-Algorithmen bilden heute weit verbreitete Such- und Sortieralgorithmen (Hui 2019, S. 139) und sind auch in wissenschaftlichen Kontexten wie der Computersimulation von Relevanz (vgl. Formanek 2017, S. 30–33).

Beim maschinellen Lernen geht der Einbezug von Zufallsmechanismen einher mit rekursiven Mechanismen, wie beispielsweise bei der Genese von Merkmalsvektoren im Rahmen von Deep-Learning-Verfahren der Fall. Wird zu Beginn eines ‚Lernprozesses‘ jedem Neuron in neuronalen Netzwerken als Anfangsbedingung eine *zufällige* Gewichtung zugewieilt, so bedeutet das ‚Trainieren‘ dieses Netzwerks schließlich, mögliche Fehler im Output durch rekursives Anpassen dieser Gewichtungen schrittweise zu reduzieren (vgl. Hui 2019, S. 139), so lange, bis die gewünschte Ausgabe erzeugt wird (vgl. auch LeCun/Bengio/Hinton 2015, S. 438) und die zu Beginn des Verfahrens eingeführte Zufallskomponente (die zufällige Gewichtung der Neuronen) wieder ‚eingefangen‘ ist. Zur Minimierung des Fehlers zwischen dem erzielten und gewollten Output des neuronalen Netzwerks werden die Fehlerwerte dabei rekursiv jeweils auf Grundlage vorheriger Schichten zurück an die ursprüngliche Input-Schicht zurückgereicht und die Verbindungsgewichte bei diesem Durchwandern der Schichten angepasst. Das hier beschriebene *Backpropagation*-Verfahren markiert also einen Ansatz im Kontext des maschinellen Lernens, der rekursive und kontingente Elemente algorithmischer Verarbeitungsprozesse verknüpft, auch wenn es sich beim Backpropagation-Algorithmus selbst in der Regel um keine klassische rekursive Funktion im engeren programmiertechnischen Sinne handelt (vgl. LeCun/Bengio/Hinton 2015, S. 436; vgl. auch Oberhofer/Zimmerer 1996, S. 14; Schäffer/Lieder 2023, S. 4; Swertz 2020, S. 101). Die Integration von Zufall und Kontingenzen in algorithmischen Prozessen trägt dabei auch zur Leistungssteigerung der Computerberechnungen bei, insofern sie es ermöglicht, den Rechenaufwand zu reduzieren, da Computer nicht alle Möglichkeiten durchrechnen müssen, um Resultate zu optimieren. Zufallskomponenten reduzieren bzw. beseitigen dabei „überflüssige Informationen“ und reichern damit Eingabedaten an, indem sie lernende Algorithmen dazu „zwingen“, möglichst generische Rechenverfahren zu erzeugen (Hui 2019, S. 139; Übers. OM).⁴⁵

Welche Konsequenzen erwachsen aus Rekursivität und Kontingenzen algorithmisch operierender technischer Systeme und damit aus der Diagnose, dass diese nicht nur Ausdruck von Bestimmtheit sind, sondern stets auch Unbestimmtheitsbereiche eröffnen? Was bedeutet beispielsweise die Integration des Zufalls (“randomness”) für die im weiteren Verlauf der Studie analysierte Frage nach der digitaltechnikbasierten Wissensgenese? Ermöglichen probabilistische Verfahren vielleicht die *Genese des Neuen* per genuinem ‚Einfall‘, nämlich dem des technischen, nicht menschlichen Systems? Anzunehmen ist, dass es auch in der algorithmischen Verarbeitung keine *voraussetzungslosen* Zufälle oder ‚Einfälle‘ geben kann, denn zum einen entstehen auch die vom Algorithmus prozessierten oder durch Sensorisierung erfassten Daten innerhalb menschlich vorstrukturierter Ord-

⁴⁵ Und schließlich ermöglicht es die Einführung von *randomness* in lernenden Algorithmen auch, aus „lokalen Minima“ auszubrechen, wie dies beispielsweise beim Google-Suchalgorithmus der Fall ist. Lokale Minima sind in vielen Fällen nicht optimal und mithilfe von Algorithmen wie dem *stochastischen Gradientenabstieg* wird es möglich, aus lokalen Minima „herauszuspringen“. Damit erreicht der Algorithmus vielleicht nicht das exakte globale Minimum oder Maximum, nähert sich diesen aber zumindest an (Hui 2019, S. 139; Übers. OM).

nungen und Vorannahmen (vgl. Abschnitt 3.2), die durch die technische Verarbeitung reproduziert werden (vgl. boyd/Crawford 2013; vgl. auch Friedman/Nissenbaum 1996, S. 333–335). Zum anderen ist aber auch die Weiterverwertung der aus der algorithmischen Verarbeitung resultierenden Ergebnisse in menschlichen Erkenntnis- und Wissensprozessen nicht zufällig, denn *in* diesen Resultaten kann ein Mensch vielmehr nur das entdecken, was ihm aufgrund seiner Vorstrukturierung und eigener ‚Vorurteile‘ als das ‚Fällige‘ zufällt (ausführlicher dazu in Rekurs auf Theodor LITTS bildungsorientiertem Methodenverständnis in Abschnitt 4.1). Fraglich ist dabei, inwieweit diese (impliziten) Vorstrukturierungen – sowohl in der Technik als auch im Menschen – jedoch zugänglich und damit nachvollziehbar werden können. Soll beispielsweise die Entwicklung von Daten untersucht werden, die innerhalb solcher algorithmischer Rekursionen verarbeitet werden, so ist dies häufig nicht länger möglich, indem Ausgabedaten im Sinne eines *reverse engineering* zurückverfolgt werden, denn im Verlauf ihrer rekursiven und teils zufallsgesteuerten Verarbeitung entstehen Emergenzen, die nicht länger durch die ‚Summe ihrer Einzelteile bzw. Bearbeitungsschritte‘ erklärbar sind. Um jene Prozesse und damit die Verarbeitung von Daten zu verstehen, müsste man verstehen, wie sie „Schleife um Schleife“ hervorgebracht worden sind (Beer 2022, S. 3; Übers. OM; vgl. auch Engel/Kerres 2023, S. 4).

Als gerade für die Genese wissenschaftlichen Wissens zentrale Konsequenz kann daher auch die durch rekursive und contingente algorithmische Vollzüge entstehende schwer auflösbare Opazität der Systeme gelten. Während es bei klassischen, nach festen Transformationsregeln operierenden Verfahren gut möglich ist, mindestens ein praktisch-konzeptionelles Verständnis der ihnen unterliegenden Transformationsregeln zu erlangen, so ist dies in vielen Fällen heutiger ‚lernender‘ Systeme nun schwerer möglich, da diese ihre Transformationsregeln ändern. Und während klassische Techniken das prinzipielle Öffnen der ihnen unterliegenden *Blackboxes* erlauben – in etwa durch das Hinzuziehen von Expertinnen und Experten – so ist dies im Rahmen transklassischer, ihre Transformationsregeln selbstständig verändernder Techniken nicht immer möglich. Aufgegeben werde mit transklassischen Techniken daher die Möglichkeit des „praktischen *und* epistemischen Verständnisses“, argumentiert KAMINSKI (Kaminski 2020, 157–158; H. i. O.). Es stellt sich etwas ein, das Paul HUMPHREYS (2004, S. 147–151) als „epistemische Opazität“ bezeichnet hat, eine Form der Opazität technischer bzw. algorithmischer Systeme, die *intrinsisch*, und daher nicht auflösbar ist (vgl. u. a. Kaminski 2018, S. 322 und 329). Der Annahme einer epistemischen Opazität wird in Abschnitt 5.1.3 noch einmal gesondert nachgegangen. An dieser Stelle sei nur soviel vorweggenommen: Epistemische Opazität wirft Wissenschaffende auf die Notwendigkeit zurück, mit einer grundsätzlichen Unwissbarkeit bestimmter Teile des Wissensprozesses zurechtzukommen. Dieser *Blackbox* ist häufig nicht länger rein analytisch (durch *reverse engineering*), sondern nur *synthetisch* im Sinne tentativer Erprobungsverfahren sowie Trial-and-Error-Strategien, und daher auch nur annäherungsweise, beizukommen. Das wirft auch Fragen für den in Bildungskontexten zentralen Kompetenzdiskurs auf, denn bei der Frage nach dem Wissen und Können, das Menschen benötigen, um *sachgerecht, selbstbestimmt, kreativ* und

sozial verantwortlich (vgl. Tulodziecki 2011, S. 23) mit digitaltechnikbasierten Medien und digitaler Technik handeln zu können, kann es nicht ausschließlich darum gehen, explizierbare Kompetenzkataloge zur Konturierung des im Kontext digitaltechnischer Systeme ‚Wissbaren‘ zu entwickeln – ein Wissen, das sich ohnehin in einer nicht einholbaren Geschwindigkeit technischer Innovationen beständig ändert. Bei der Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen geht es also zunehmend auch darum, Orientierungsstrategien zum *Umgang mit dem Unwissbaren* zu entwickeln.

Eine dritte Konsequenz jener rekursiven, nicht-linearen algorithmischen Systeme entsteht, wenn „technologische Normativität“ auch zur Quelle „sozialer Normativität“ wird (Hui 2016, S. 247) – eine Annahme, die u. a. von David BEER auch unter dem Terminus der *rekursiven Gesellschaft* in soziologischer Perspektive diskutiert wurde (vgl. Beer 2022, S. 1). In kommunikations- und medienwissenschaftlicher Perspektive hat schließlich Andreas HEPP die gesellschaftlich-kulturellen Folgen algorithmischer Rekursivität im Zusammenhang seiner Vorstellung von “deep mediatization” (Hepp 2020, 2021) reflektiert. Dabei versteht er die tiefgreifenden Mediatisierungsprozesse im Zuge des digitalen Wandels als „Prozess rekursiver Transformation“ (Hepp 2021, S. 32) – Rekursivität hier verstanden als Prozess, in dem Regeln auf Entitäten, die durch diese Regeln erst hervorgebracht wurden, erneut angewendet werden (vgl. ebd., S. 157). Trotz des Ursprungs des Rekursivitätsgedankens in Logik und Informatik findet dieses Prinzip HEPP zufolge seine gesellschaftlich-kulturelle Fortsetzung in den heutigen soziotechnischen Konstellationen, wie sie sich vor dem Hintergrund des digitalen Wandels etabliert haben.

Da viele der Praktiken, die HEPP im Zusammenhang seiner Idee einer *deep mediatization* konturiert, heute auf digitaler Technik und damit verknüpften algorithmischen Strukturen aufsetzen, schreiben sich durch algorithmische Rekursionen entstandenes Wissen und damit verknüpfte Praktiken *tief* in die sozialen und kulturellen Ebenen heutiger Gesellschaften ein: „Selbst scheinbar einfache Handlungen, die von sozialen Akteur:innen ausgeführt werden, gestatten als Quelle von Daten das Erschließen möglicherweise versteckter, unsichtbarer oder gar nur unterstellter Regelhaftigkeiten, die dann die Basis weiterer Verarbeitungsschleifen und Datenrepräsentationen werden“ (Hepp 2021, S. 32 f.). Beispielhaft nennt HEPP Onlineshops, deren Plattformen laufend anhand des Kaufverhaltens auf das regelhafte Verhalten der Kundinnen und Kunden schließen, das dann wiederum in Form von Kaufempfehlungen auch für andere Kundinnen und Kunden reproduziert wird. Dabei werde von den technischen Systemen projiziertes regelhaftes Verhalten überhaupt erst als soziale Regel konstituiert und als soziales Verhalten eingeführt (vgl. ebd., S. 33). Potenziert werden diese Vorgänge durch die „gesteigerte Prozesshaftigkeit“ der auf Digitaltechnik basierenden Medien, bei denen „implizite Vorstellungen davon, wie die Gesellschaft sein sollte, in Algorithmen eingeschrieben“ werden, die dann wiederum Eingang in soziale Praktiken finden und dadurch verstärkt werden (ebd., S. 158).⁴⁶

⁴⁶ Die Relevanz solcher daten- und algorithmengetriebener Rückkopplungsschleifen wird u. a. in Shoshana ZUBOFFS (2018) Buch *Das Zeitalter des Überwachungskapitalismus* thematisiert. Darin beschreibt

Gesellschaftliche Transformationsprozesse werden dadurch nicht nur zu „*tiefgreifend* rekursiven“, sondern auch zu *spekulativen* Vorgängen, insofern darin algorithmische Vollzüge wirksam werden, die voreilende *Imaginationen* bzw. Projektionen davon erzeugen, „wie sich etwas verändern sollte“ bzw. wie Menschen sich verhalten sollten. Diese werden als „Regelsetzungen in Datenverarbeitungsalgorithmen“ formuliert, die schließlich auf jene „sozialen Phänomene, über die sie Daten sammeln, angewendet werden und durch diese rekursiven Schleifen selbst ein einflussreicher Faktor bei der Transformation sozialer Phänomene sein können“. Ähnlich einer ‚self-fulfilling prophecy‘ können also solche „*Imaginationen der Regelhaftigkeit*“ der technischen Systeme soziale Regeln sogar erst hervorbringen (Hepp 2021, S. 33, H. i. O.).⁴⁷

Dazu passt es, dass HUI in seiner Auseinandersetzung mit Bernard STIEGLERS Vorstellung von Technik als Ermöglichung eines *tertiären Gedächtnisses* (vgl. Stiegler 1998, S. 17 und 245–276) die primäre Funktion digitaler algorithmisch organisierter Technik nicht darin sieht, *Repräsentationen* im Sinne von Gedächtnisretentionen, sondern *Relationen* zu materialisieren (Hui 2016, S. 243). Digitale Milieus zielen dabei nicht auf das Vorhalten von Erinnertem bzw. Erinnerungswürdigem, sondern auf dessen Einbindung in zahlreiche Relationen in Form digitaler Objekte. Der zeitliche Fokus dieser algorithmisch realisierten Relationen ist dabei nicht rückwärtsgewandt, sondern *prospektiv*, insofern Algorithmen in digitalen Objekten gespeicherte Retentionen stets für *Vorgriffe* auf künftiges Verhalten sammeln und synthetisieren. Bei dem im digitalen Milieu materialisierten Beziehungsgeflecht handelt sich daher auch nicht um *Retentionen* im STIEGLER'schen Sinne, sondern nach HUI um *Protentionen* im Sinne dynamischer Vorgriffe, die aus den algorithmischen Vorgriffen heraus auf Gegenwärtiges verweisen (ebd., S. 245). HUI beschreibt damit eine Temporalitätsform, die er als *tertiäre Protention* bezeichnet und die den algorithmischen *Vorgriff* auf menschliches Handeln oder menschliche Erwartungen meint, den Algorithmen aus bereits vorhandenen Daten erzeugen. Dies wiederum führt dazu, dass Menschen auf diese Projektionen zurückgreifen können, ohne diese auf eigene Erinnerungen bzw. Erfahrungen zu stützen (vgl. Hui 2016, S. 245). Algorithmen können etwas *vergegenwärtigen*, ohne vorher *abzubilden* und *nachzubilden*,

ZUBOFF, inwiefern algorithmische Projektionen Eingang in Dienste finden, die von Nutzenden in Anspruch genommen werden und das damit zusammenhängende Nutzungsverhalten von den technischen Systemen anschließend wieder als „Verhaltensdaten“ rezipiert und schließlich für erneute Analysen verwendet wird (vgl. Beer 2022, S. 2; Übers. OM; Zuboff 2018, S. 91–121).

⁴⁷ Dazu passt, dass Lawrence LESSIG dem Computercode einen gesellschaftlich relevanten *Gesetzescharakter* attestiert und dessen Programmiererinnen und Programmierern entsprechend den Status von “*lawmakers*” zuschreibt (Lessig 2006, S. 79). Diese Diagnose wird vor dem Hintergrund ‚selbstlernender‘ Algorithmen, die zunehmend Eigengesetzmäßigkeiten entfalten, noch einmal verstärkt. Diese verhaltensregulierende Funktion von Computercode wird dabei meist wirksam, ohne dass dessen Programmierung bzw. ‚*Lernprozesse*‘ selbst politisch-normativen oder ethischen Regulierungen unterworfen sind. Algorithmische Systeme für eine wertebezogene Entscheidungsfindung zu ‚*qualifizieren*‘, wäre dabei allerdings weniger ein programmiertechnisches Problem als vielmehr eines der Entscheidung darüber, auf welcher Konsensgrundlage eine entsprechende Qualifizierung in diesen Systemen vorgenommen werden soll (vgl. Rath 2020, S. 111–113).

darin besteht das Herzstück dessen, was HUI in Rekurs auf die Synthesisformen bei Immanuel KANT als vierte, algorithmische Synthesisform bezeichnet. Algorithmische Vergegenwärtigungen sind dabei stets *rekursiv* (vgl. ebd., S. 243), insofern sie Gegenwart durch aus Daten gewonnenen Projektionen herstellen. HUI nennt hier unterschiedliche Beispiele aus der *Soziometrie* Sozialer Netzwerke: So materialisieren bzw. vergegenwärtigen Soziale Netzwerke gegenwärtige soziale Beziehungen aus algorithmischen Projektionen *möglicher* sozialer Relationen, die „entdeckende“ Algorithmen durch entsprechende Suchbewegungen auffinden (vgl. ebd., S. 251). Algorithmische Vorgänge werden dabei insofern produktiv, als dass sie Gegenwärtiges aus Projektionen gewinnen, die sie auf Grundlage von Retentionen menschlicher Erinnerungen und Gewohnheiten in digitalen Objekten erzeugen und die Menschen wiederum als Grundlage für eigenes Handeln verwenden können. Algorithmische Prozesse der Vergegenwärtigung sorgen dabei für etwas, das sich für HUI als „gegenwärtige Zukunft“ bezeichnen lässt (ebd., S. 245; Übers. OM).⁴⁸

Insgesamt lässt sich vor dem Hintergrund algorithmischer Relationalität, der rekursiven Gesellschaft und tiefgreifender Mediatisierung konstatieren, dass menschliche Handlungsvollzüge und Praktiken inzwischen über zahlreiche Rückkopplungsschleifen mit algorithmisch-technischen Vollzügen umfänglich miteinander verwoben und zugleich schwer zu bestimmen bzw. nachzuvollziehen sind. Durch die Verortung von Algorithmen in Analogie zu *Praktiken* liefern Jonathan ROBERGE und Robert SEYFERT zugleich Hinweise für einen möglichen theoretischen Zugriff auf eine durch algorithmische Rekursivität und Kontingenz geprägte digitale Technik: Konzeptionell erschließbar könnten diese über *praxeologische* Ansätze sein, die ihre Performanzen, Divergenzen und Abweichungen sowie damit verbundene (kulturelle, epistemische) Aushandlungsprozesse berücksichtigen (vgl. Roberge/Seyfert 2017, S. 23–25). Eine nicht dediziert praxeologische, sondern vielmehr *pragmatische* Sichtweise auf die Möglichkeiten der Reflexion digitaler Technik wird daran anknüpfend in der bildungsorientierten Auseinandersetzung im letzten Teil der Studie nochmals aufgegriffen und auf Basis der Theorie des impliziten Wissens weiter fundiert (vgl. Abschnitte 6.2 und 6.3).

Die in diesem Abschnitt diskutierte „Reflexivität“ algorithmischer Vollzüge basiert u. a. auf Feedback und Rückkopplungen, auch zwischen Mensch und technischem System. Doch inwiefern sind diese überhaupt möglich? Dieser Frage wird im folgenden Abschnitt mit Blick auf die Idee des *Interfaces* nachgegangen, die ebenfalls in ihrem ambivalenten Charakter in den Blick genommen wird.

⁴⁸ Diese Formen gegenwärtiger Zukunft können beispielsweise im Rahmen algorithmischer Empfehlungssysteme als Inspirationsquellen zur Erweiterung sozialer und ökonomischer Relationen dienen (in etwa Freundschaftsvorschläge im Rahmen Sozialer Netzwerke oder Produktempfehlungen). Sie können aber auch Inspirationsquelle für (wissenschaftliche) Erkenntnisprozesse sein, indem sie Relationen und Muster sichtbar machen, die mit dem menschlichen Auge oder aber dem menschlichen Verstand nicht erkennbar sind (vgl. zur algorithmischen Mustererkennung Abschnitt 5.2.2 und 5.2.3).

3.4 Interfaces zwischen Greifbarkeit und Ausschluss

In seinem Verhältnis zur (digitalen) Technik ist der Mensch auf der Interaktions- und Handlungsebene auf *analoge*, das heißt mit den menschlichen Sinnen fass- und begreifbare, kontinuierliche Darstellungs- und Repräsentationsformen angewiesen (vgl. Zimerli 2021, S. 15). In KITTLERS kritischer Bewertung der Bedeutung von Software ist Software sowohl praktisch als auch ideengeschichtlich vor allem deshalb so bedeutsam geworden, weil Computersysteme mit ihrer formalisierten Sprache immer noch in „einer Umgebung aus Alltagssprachen koexistieren“ müssen (Kittler 2014, S. 291). Gerhard TUŁODZIECKI weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass Nutzende in der Regel überhaupt nicht mit dem „Digitalen als ‚Rohform‘“ (Tulodziecki 2016, S. 17) in Berührung kommen, sondern stets nur vermittelt über Schnittstellen, die digitale Technik verstehtbar und greifbar machen. Bernard ROBBEN konzipiert den Computer daher auch als Medium der *Übersetzung*, das „für den Menschen zwischen einer unsinnlichen formalen Symbolwelt, die im Speicher der Maschine nach syntaktischen Regeln prozessiert und einer dadurch induzierten, wahrnehmbar dargestellten medialen Wirklichkeit“ übersetzt (Robben 2006, S. 292).

Solche menschlich verstehbaren Repräsentationsräume im Rahmen der Mensch-Maschine-Interaktion werden in der Regel im Begriff des *Interface* bzw. der *Benutzerschnittstelle* zusammengefasst – die bekannteste Entwicklung solcher menschlich begreifbarer Schnittstellen in der Computertechnik ist wohl die *Grafische Benutzeroberfläche* bzw. das Graphical User Interface. Benutzeroberflächen als analoge Repräsentationsflächen bilden Schnittstellen, an denen Menschen Handlungen an und mit den technischen Objekten vollziehen können. Frieder NAKE unterscheidet – ähnlich wie HUI (2016) – zwischen dem *Surface* und *Subface* digitaler Objekte, hier konkret in Bezug auf das digitale Bild: „We can deal with it as a digital image only if we consider it to be a pair of a visible surface and a manipulable subface. The surface is analog, the subface is digital“ (Nake 2016, S. 13). Und MANOVICH schreibt in *The Language of New Media*: „New media may look like media“ – und damit meint MANOVICH ebenjene den Menschen zugänglichen analogen Formate wie Bilder, Audio oder Text (Manovich 2001, S. 47 f.) – „but this is only the surface“ (ebd., S. 48).

Die Ambivalenz digitaler Objekte zeigt sich also darin, dass diese stets eine „uns sinnlich zugängliche und eine uns sinnlich nicht zugängliche Seite aufweisen“ (Nake 2001, S. 170). In ähnlicher Weise spricht auch HUI von der Dopplstruktur digitaler Objekte, die sowohl in ihrer logischen Form im „Backend“ des Computers als auch in ihrer menschlich wahrnehmbaren Form auf dem Bildschirm existieren (vgl. Hui 2016, S. 2). Interfaces sind in diesem Zusammenhang deshalb als ambivalent zu betrachten, da sie, so DISTELMEYER, sowohl ein „Verschließen“ als auch ein „Erschließen“ (Distelmeyer 2021, S. 73) digitaler Objekte ermöglichen. Insofern könnte mit Alexander GALLOWAY, der sich aus medienwissenschaftlicher Perspektive mit der prozessualen Bedeutung von Interfaces auseinandergesetzt hat, auch gelten: „[A]n interface is not a thing, an interface is always an effect. It is always a process or translation“ (Galloway 2012, S. 33) – ein Prozess, der zwischen

dem sinnlich Zugänglichen und sinnlich nicht Zugänglichen der digitalen Technik vermittelt.

Am Begriff des Interface wird zudem deutlich, inwiefern die Unterscheidung zwischen *analog* und *digital* im Zusammenhang des digitalen Wandels wenig sinnvoll ist: Will der Mensch mit digitalen Objekten interagieren, benötigt auch das digitale Objekt stets eine ‚analoge‘ Dimension, die einen Zugang für die menschliche Wahrnehmung und das menschliche Agieren mit der Technik eröffnet. Zugespitzt formuliert kann argumentiert werden, dass der heutige alltagsprägende digitale Wandel nur aufgrund der Implementierung leistungsstarker *Konvertertechnologien* überhaupt möglich wurde (vgl. Jörissen 2019, S. 6) – und zwar solcher, die in beide Richtungen hin aktiv sind: Während Analog-Digital-Konverter einen Kernpunkt dessen ausmachen, was technisch als *Digitalisierung*, und damit Überführung realweltlicher, kontinuierlicher Zusammenhänge in eine digitale Codierung begriffen werden kann, sind auch *Digital-Analog-Konverter* von Bedeutung, die sich heute insbesondere in den visuellen (Display), textbasierten, auditiven (z. B. bei Spracheingaben) sowie haptischen (das Wischen über die Bildschirmoberfläche) Repräsentations- und Interaktionsformen manifestieren, über die Interaktionen mit einem Digitaltechniker, wie beispielsweise mit einem Smartphone, eine analoge und damit für den Menschen sinnlich erfahrbare Kontur erhalten.

Wolfgang COY (1995), Thomas KNAUS (2020), Lev MANOVICH (2001), Heidi SCHELHOWE (1997, 2011, 2016) wie auch Bernard ROBBEN (2006) beschreiben jene stets auf den menschlichen Nutzenden sich beziehenden Interfaces daher folgerichtig auch in der Terminologie des *Mediums*. KNAUS beschreibt die Oberflächenstruktur des Interfaces in seinem Interaktionsmodell *Mensch – Medium – Maschine* treffend als „mediale Oberfläche“ (Knaus 2020, S. 27), die aufgrund ihrer auf Zeichen basierenden symbolischen Strukturiertheit den „Dialog“ zwischen Mensch und Maschine ermöglicht. Mit dieser Oberfläche verbundene Aktivitäten des Gestaltens von Medien(formaten) bezeichnet er als „produktives Medienhandeln“ (ebd., S. 31), insofern dabei genau jene als Schnittstelle zum menschlichen Verstehen notwendigen Formate bzw. Medien produziert werden. Auch für Heidi SCHELHOWE (2011, S. 354) kann der Computer bzw. digitale Technik nur durch eine entsprechend zugängliche Oberfläche zum *Medium* im kommunikationstheoretischen Sinne werden, insofern Nutzende nur über eine solche mediale Oberfläche mit den digitaltechnischen Objekten in Interaktion treten können.

Auf der anderen Seite fungiert die mediale Oberfläche aber auch als Ausschlussmechanismus. Heidi SCHELHOWE argumentiert, dass sich die intuitiv nutzbaren Oberflächen heutiger Computermedien – sinnvollerweise – so entwickelt hätten, „dass ihnen ihre Programmiertheit nicht mehr anzusehen ist“ (Schelhowe 2016, S. 50), denn für „das Alltags-handeln und für Arbeitsprozesse ist es in den meisten Fällen von Vorteil, wenn die Prozesse im Computer nicht in Erscheinung treten“ (Schelhowe 2011, 354). Damit werden aber gerade die heutigen digitaltechnischen Systeme zu Expertensystemen par excellence (vgl. Abschnitt 2.2.2), insofern sie Rechenprozesse, die in der Regel nur von informatonstechnisch ausgebildeten Expertinnen und Experten nachvollziehbar sind, auch technischen Nicht-Expertinnen und -Experten für eigene Handlungszwecke verfügbar machen.

Die Konzeptionierung von Interfaces als *Medien* ist aber nicht nur im kommunikations-theoretischen Sinne, sondern auch im Hinblick auf wahrnehmungstheoretische und medienphilosophische Medienkonzeptionen nachvollziehbar, insofern Medien demnach *etwas zum Erscheinen* bringen, nämlich die analogen, sinnlich zugänglichen Repräsentationsformen, ohne dabei die Bedingungen ihres Erscheinens – ihre Medialität – direkt zu offenbaren. Medien sind in diesem Sinne also diejenigen Entitäten, die etwas von Menschen sinnlich Erfahrbare, Verstehbare und Nutzbare hervorbringen. Digitale Technik als eine, die sich im Internet der Dinge zunehmend stärker die von Menschen versteh- und nutzbaren Alltagsgegenstände als Repräsentationsformen zunutze macht, ist auch deswegen *Medium* bzw. medial, weil sie ihre Medialität – das heißt die Möglichkeitsbedingungen und das *Wie* dessen, was menschlich Verstehbares zum Erscheinen bringt – hinter den nutzerfreundlichen Interfaces verbirgt oder zumindest dafür sorgt, dass jene nicht *direkt* erfahrbar sind (vgl. Abschnitt 2.3.2).

Mit Blick auf die in diesem Abschnitt diskutierte Ambivalenz digitaltechnischer Schnittstellenstrukturen und Interfaces hat der Informationsethiker und Philosoph Luciano FLORIDI eine erhellende Metapher in die Diskussion eingebracht. Er spricht in Rekurs auf den römischen Gott *Janus* von einer „Zweigesichtigkeit“ der heute zunehmend auf Informations- und Kommunikationstechnologien basierenden digitalen Technik, die er als Technik *dritter Ordnung* bezeichnet. Als „Gott der Schnittstellen“ bezeichnet FLORIDI *Janus*, der Gott mit den zwei Gesichtern, der hier die zweigesichtige digitale Technik repräsentiert (Floridi 2015, S. 56). Davon ist ein Gesicht den Nutzenden zugewandt und soll dabei ein möglichst „freundliches“ sein. Das andere Gesicht wendet sich innertechnischen Vollzügen zu und wird von FLORIDI als „Protokoll“ bezeichnet. „Anwenderschnittstelle“ und „Protokoll“ bilden FLORIDI zufolge den Januskopf digitaler Technik (Floridi 2015, S. 56), deren Entwicklungsgeschichte u. a. auch als ein Voranschreiten von *Schnittstellentechnologien* bezeichnet werden kann, allerdings nicht nur solcher, die, wie die Grafische Benutzeroberfläche, den *Anschluss* des Menschen an die Technik ermöglichen, sondern auch das Anschließen von Techniken an Techniken unter *Ausschluss* des Menschen. Janus, so FLORIDI, verbirgt im Rahmen der heutigen Techniken *dritter Ordnung* sein *Protokollgesicht*, und zwar so, „dass er immer mehr wie ein gewöhnlicher Gott aussieht, eingesichtig“ (ebd., S. 56 f.). Das Verschwinden der Protokoll-Schnittstelle für das menschliche Auge beginnt bereits mit den Techniken *zweiter Ordnung*: „Bei einem Auto mit Schaltgetriebe [...] beschränkt sich alles, was Sie wahrnehmen und womit Sie interagieren, auf Schaltknüppel und Kupplungspedal“, während das Protokoll als Schnittstelle, über die der Motor mit dem Antriebssystem des Fahrzeugs interagiert, so lange nicht wichtig für die Autofahrerinnen und Autofahrer ist, solange es funktioniert, erst Fehlfunktionen rufen dessen Existenz ins Gedächtnis (ebd., S. 57 f.) – eine Auffassung, die bereits im Zusammenhang von SCHULZ-SCHAEFFERS (2000) Diskussion technischer Expertensysteme skizziert wurde (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Im Rahmen der Techniken zweiter Ordnung, so FLORIDI, übernimmt noch weitgehend der Mensch die für die Vernetzung der einzelnen Techniken notwendige „Schnittstellenarbeit“. So setzt er beispielsweise „die Anweisungen des Navigationsgeräts in entspre-

chende Fahrmanöver“ um oder hat noch dafür zu sorgen, „dass der Supermarkt und unser Kühlschrank interagieren“ (Floridi 2015, S. 52). Heutige Techniken *dritter Ordnung* sind jedoch dabei, „die schwerfälligen menschlichen Zwischenwesen [...] aus der Schleife zu entfernen“. Ein Router als Repräsentant einer Technik dritter Ordnung, also einer, die Techniken an Techniken anschließt, legt dabei in einem automatisierten Verfahren der „Protokollaushandlung“, dem sogenannten „Handshaking“, Parameter der Interaktion zwischen den technischen Objekten oder Systemen fest. Von diesem „Handshaking“ sind menschliche Nutzerinnen und Nutzer jedoch ausgeschlossen, beide Janusgesichter der Technik – Anwenderschnittstelle und Protokoll – bleiben den Nutzenden für diesen technischen Vorgang sowohl anwendungsbezogen als auch reflexiv unzugänglich (ebd., S. 59). In einer „vollintegrierten Infosphäre“ (ebd., S. 52) funktioniert das Zusammenspiel der digitalen Geräte zunehmend auch ohne direkte menschliche Interventionen, schreibt FLORIDI.

In diesem Zusammenhang konstatiert HUBIG für die Technik der „postindustrielle[n] Gesellschaft“ einen „Wandel ihrer Medialität“. Die technischen Systeme der Hochtechnologien wie Informations- und Gentechnologien sind bereits dergestalt vorformiert bzw. „informiert“, dass sie als „Subjekte der Koordination“ erscheinen, so beispielsweise im Rahmen von *ubiquitous computing*, in der smarte und miteinander kommunizierende Ge genstände für Menschen keine nachvollziehbaren „Zweckbindungen“ mehr aufweisen (Hubig 2006, S. 164). Dies selbst wäre unproblematisch, wenn entsprechende Formungen von menschlichen Subjekten im Kontext von Entlastungsstrategien veranlasst und an technische Prozesse und Vollzüge delegiert würden. In der zeitgenössischen Technik entsteht eine solche *In-Formatio* der Technik jedoch häufig auch „durch (Selbst-)Organisationsprozesse [...], die von den interagierenden Subjekten nicht mehr kontrollierbar sind“ (ebd., S. 164). Die Befürchtung besteht, dass damit „die Möglichkeit einer Grenzerfahrung, insbesondere durch scheiternde Handlungsvollzüge“ verunmöglich wird und dies zu einem „Verlust der Spuren“ führt (vgl. ebd., S. 165), insofern sich die Bedingungen technischer Medialität nicht einmal mehr indirekt erschließen lassen, was die Mensch-Maschine-Interaktion zu einer zunehmend *einseitigen* Angelegenheit werden ließe.

Zugleich aber kehrt die teils als körperlose Virtualität gedachte Funktionslogik des Computers (vgl. Abschnitt 3.2) im Kontext des Internets der Dinge wieder greifbarer als physische Materie zurück, indem nämlich Computer zunehmend Alltagsgegenstände „bevölkern“ (Robben/Schelhowe 2012b, S. 8) und diese dadurch zu ‚smartem‘ technischen Objekten avancieren. Die vom Menschen stets als kontinuierlich wahrgenommene menschliche Umwelt wird hier selbst zur analogen Schnittstelle zwischen menschlichem Handeln und digitaltechnischen Prozessen. Die Rechenmaschine, das Kernstück jeglicher digitaler Technik, wird dadurch *ubiquitous* und die ‚smartem‘ Alltagsobjekte stellen zugleich physische Schnittstellen dar, welche die darin verbauten Computer für den Menschen in einer neuen Art und Weise *greifbar* machen (vgl. Robben/Schelhowe 2012a).

Zwar werden in ‚smartem‘ Umgebungen die vormaligen *Benutzerschnittstellen* häufig zur *versiegelten* Oberfläche, die nur noch wenig Zugriffsmöglichkeiten auf das *Innere* der Technik für Menschen bietet. Aber „dennoch oder gerade deshalb“, schreibt

SCHELHOWE im Hinblick auf die Bedeutung der heutigen *digitalen Medien*, liege in diesen ein bislang ungekanntes *Bildungspotential*. Denn gerade in Form computerisierter Alltagsgegenstände eröffnen diese „einen konkreten, audiovisuellen, ja haptischen oder körperlichen Zugang und fordern zum handelnden Umgang“ mit ihnen auf (Schelhowe 2016, S. 50). Anders als FLORIDI argumentiert SCHELHOWE, dass der „doppelte Charakter“ des *Computers als Medium* sich eben nicht nur durch dessen sichtbare und unsichtbare Seite auszeichnet, sondern auch durch die Dualität von *Abstraktion* und *Konkretion*: Auf der einen Seite finden sich „Reduzierung von Objekten und Prozessen auf ein abstraktes Modell“, auf der anderen Seite zeigen digitale Medien ihren Nutzenden ein „konkretes Gesicht“ und ermöglichen dadurch einen „höchst konkreten Umgang“ mit jenen Abstraktionen (Schelhowe 2011, S. 352). Durch ihre möglicherweise versiegelten, aber dennoch konkret fassbaren Oberflächen, ihr Interface, ermöglichen digitale Medien, digitale Objekte und ‚smarte‘ Alltagsgegenstände einen handelnden, haptischen, affektiven Umgang mit ihnen. Genau dieser erfahrungsbasierte, sinnliche Umgang mit technischen Objekten kann unter bestimmten Voraussetzungen auch eine „Einsicht in ihre Wirkprinzipien“ ermöglichen (ebd., S. 356). Hierfür sei es in Rekurs auf Maria MONTESSORI gerade in pädagogischen Kontexten von Vorteil, wenn digitale Medien als Bildungsgegenstände so ausgewählt würden, dass „sie im Umgang den Blick auf wesentliche Prinzipien freigeben und diese handelnd erfahren lassen“ (Schelhowe 2011, S. 356). SCHELHOWE plädiert daher für ein pädagogisch orientiertes technisches *Design* (vgl. auch Abschnitt 6.3.3). In diesem Kontext bestünde aus der Perspektive der Ethik HUBIG zufolge die „zentrale Direktive“ im „Erhalt von Spuren“ bzw. darin, „ihre bewusste Produktion zu gewährleisten, damit die Voraussetzung für die Einnahme eines kritischen Verhältnisses zum medial vermittelten Resultat erhalten bleibt“ (Hubig 2006, S. 171). In der bildungsorientierten Auseinandersetzung im letzten Teil der Studie wird der Frage nachgegangen, inwiefern es möglich ist, auch jenen uneinsichtigen digitaltechnischen Strukturen anhand eines *konkreten* Umgangs mit ihnen und mithilfe des Blicks auf deren *Resultate* – wie beispielsweise ästhetische Produktionen – auf den Grund zu gehen. Was lässt sich dabei aus dem Konkreten über das unterliegende Abstrakte lernen?

Digitale Technik als eine, die sich zunehmend stärker die von Menschen versteh- und nutzbaren Alltagsgegenstände als Repräsentationsformen zunutze macht, ist damit immer auch Medium bzw. medial, trotz der Tatsache, dass die Bedingungen jener Medialität hinter den ‚nutzerfreundlichen‘ Interfaces verschwinden. Gerade im Kontext der wissenschaftlichen Wissensgenese wäre es dagegen von Bedeutung, die Bedingungen jener Medialität digitaler Technik im Sinne guter wissenschaftlicher Praxis und der Transparenz der Wissensgenese offenlegen zu können. Diese Bedingungen, die im Verlauf des vorherigen Abschnitts schon mit der Konturierung digitaler Objektstrukturen, algorithmischer Performativität und der Vermittlungsdimension des Interfaces eine erste Beschreibung erhalten haben, sollen im weiteren Verlauf der Studie im Zusammenhang der Genese wissenschaftlichen Wissens konkretisiert und in einem praktischen Nutzungskontext – den Wissenschaften – verortet werden. Zunächst ist jedoch auf die allgemeine Bedeutung

von Technik für die Genese wissenschaftlichen Wissens einzugehen: Wie lässt sich das Verhältnis zwischen Wissenschaft, wissenschaftsmethodischem Denken und Technik ideengeschichtlich konturieren und welche Bedeutung hat die Genese dieses Verhältnisses für das, was heute als „digitaler Wandel in den Wissenschaften“ bezeichnet werden kann?

4. Technik und Methode als Bildung der Wissenschaften

4.1 Zum bildenden Charakter der Methode

Im vorliegenden Abschnitt wird u. a. in Rekurs auf die Überlegungen Theodor LITTS und Hans BLUMENBERGS die Vorstellung vom *bildenden Charakter methodischen Denkens* in den Wissenschaften skizziert. Zu diesem ‚Methodenkapitel‘ ist zunächst anzumerken, dass es an dieser Stelle zunächst nur randständig um konkrete – sprich angewandte – Methoden wissenschaftlichen Arbeitens gehen wird. Der Begriff der *wissenschaftlichen Methode* ist auch nicht trivial, denn was in den unterschiedlichen wissenschaftlichen Kontexten und Disziplinen jeweils unter Methoden verstanden wird, unterscheidet sich stark. So wird der Terminus *Methode* sowohl dafür verwendet, einen *forschungsparadigmatischen* Rahmen (wie beispielsweise die *Grounded Theory*) zu bezeichnen, als auch, um ein explizites Vorgehen (wie ganz allgemein das naturwissenschaftliche *Experiment*, *statistisch-mathematische Analyseverfahren* oder die *Qualitative Inhaltsanalyse*) zu beschreiben, drittens aber auch, um die im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess eingesetzten *Instrumente* (z. B. Erhebungsinstrumente wie Fragebögen oder Labortechnik und Computersoftware) zu bezeichnen (vgl. auch Rath 2019a, S. 32). Anhand seiner einzelnen Erscheinungsformen ist der Methodenbegriff im gesamtwissenschaftlichen Kontext daher schwer zu fassen. Zudem kann es in dieser Studie schon allein aus forschungsökonomischen Gründen nicht darum gehen, im ‚Dickicht‘ verschiedenster methodischer Ansätze und Forschungsmethoden der unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen und Forschungsfelder eine Methoden-Systematik zu entwickeln – dafür existieren bereits zahlreiche Methodenlehrbücher und methodologische Abhandlungen, die entweder disziplinspezifische oder forschungslogikenspezifische Systematiken entwickelt haben (vgl. u. a. Balzer 2009; Döring/Bortz 2016).

Mir geht es hier vielmehr darum, *methodisches Denken* in Prozessen des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns in den Blick zu nehmen und dabei zunächst der Frage nachzugehen, inwiefern von einem *bildenden Charakter* methodischen Denkens ausgegangen werden muss. *Bildend* ist hier durchaus im Sinne von *formierend* (*formatio*) bzw. auch *einbildend* (*in-formatio*) zu verstehen, wie das beispielsweise Werner SESINK in Bezug auf die Bildungsdimensionen des Computers skizziert hat (vgl. Sesink 2004, S. 80), insoweit sowohl methodisches Denken als auch (digitale) Technik selbst wissenschaftliche Prozesse auf bestimmte Art und Weise (vor)strukturieren und damit als Formations- bzw. Strukturprinzip wirken. Hierfür bilden die Überlegungen Theodor LITTS einen weiterführenden und auch bildungstheoretisch anknüpfbaren Ausgangspunkt. Bevor ich den Überlegungen Theodor LITTS nachgehe, sollen im Folgenden einige einführende Gedanken zum methodischen Denken in den Wissenschaften diskutiert werden. Zentral ist dabei die Idee, dass methodisches Denken als formale Explizierung eines Vorgehens stets in einem Spannungsfeld zu dem steht, was Wissenschaftende tatsächlich *tun*, wenn sie Wissen produzieren.

Methodisches Denken und Vorgehen zwischen explizitem und implizitem Wissen

Wissenschaftliche Methoden stellen heute „Verfahren und Instrumente zur Erforschung, Explikation und Reflexion eines Untersuchungsfeldes“ (Kübler 2014, S. 27) dar und konkretisieren dabei, wie „[g]ültige [...] Aussagen über Wirklichkeit“ (Mayntz 2005, S. 4) gewonnen werden können. *Methodos* ($\muέθoδoς$) im Altgriechischen bezeichnet zunächst ganz allgemein den „Weg“ zur Erreichung eines Ziels (vgl. Nola/Sankey 2014, S. 12), lässt sich also bereits terminologisch in einer Zweck–Mittel–Konstellation einordnen, die Methode vor allem in ihrer Funktion als Mittel der Erschließung eines Forschungsgegenstands verortet, in der wissenschaftsmethodisches Denken – wie zu zeigen ist – jedoch nicht aufgeht. Heute, und das insbesondere in wissenschaftlichen Kontexten, ist diese grundlegende Bedeutung des Wegs mit der Idee des Systematischen verbunden (vgl. Høyning-Huene 2016), man könnte also sagen, dass *methodos* vor allem das durchdachte, planvolle, systematische und regelgeleitete Verfahren zur Erreichung eines Ziels meint (vgl. Nola/Sankey 2014, S. 12) und damit Konnotationen enthält, die auch an klassische Technikbegriffe anklingen (vgl. Abschnitt 2). Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler versuchen dabei, „systematisch und mit dem Einsatz von Methoden [...], überwiegend überprüfbare Aussagen für die kognitiven Ziele [...] nutzbar zu machen“ (Brühl 2021, S. 18).⁴⁹ Reinhard KAMITZ definiert im *Handbuch wissenschaftstheoretischer Begriffe* Methode als „mehr oder weniger genau beschreibbare[n] Weg (d. h. eine endliche Folge von mehr oder weniger konkreten Handlungsanweisungen oder strategischen Maximen) zur Realisierung eines bestimmten Ziels bzw. zur Lösung einer bestimmten Aufgabe“ (Kamitz 1980, S. 429). Gerade in den *empirischen Natur- und Sozialwissenschaften* bildet methodisches Denken den Rahmen für einen planbaren, systematischen und überprüfbaren Forschungsprozess, der intersubjektive Nachvollziehbarkeit und daran anknüpfend auch Reproduzierbarkeit von Resultaten ermöglichen soll. Gleichermassen steht methodisches Denken in starkem Zusammenhang mit einem *theoriegeleiteten* Forschen. Etwas weniger systematisch erscheint dagegen zunächst das methodische Denken in den Geisteswissenschaften, das nicht selten unter dem Ansatz der *Hermeneutik* subsumiert wird und zumindest vordergründig auf weniger routinierenden und stärker ideografisch orientierten, textverstehenden⁵⁰ bzw. phänomenologischen Ansätzen basiert (Döring/Bortz 2016, S. 9).⁵¹ Wenn auch Ausprägung und Grad des systematischen Vorgehens in den jeweiligen Disziplinen unterschiedlich ausfallen, so wird die Idee einer wissenschaftlichen Methode nicht selten geradezu *algorithmisch* verstanden, nämlich als Beschreibung eines schrittweisen Befolgens spezifischer Handlungen, die übertragbar und im jeweiligen Feld universell anwendbar sind. Ein solches universelles Verständnis des wissen-

⁴⁹ Diese kognitiven Ziele bezeichnet BRÜHL als *Verstehen, Beschreiben, Erklären, Prognose, Gestaltung und Wertung* (Brühl 2021, S. 18).

⁵⁰ Wobei hier *Text* als weit gefasster Begriff gelten muss, der nicht nur schriftliche Texte meint, sondern auch textanaloge, unstrukturierte Artikulationsformen, wie beispielsweise Bilder (weiterführend vgl. Abschnitt 5.2.3).

⁵¹ Dies erwähne ich an dieser Stelle, ohne weiter auf die Problematik eines dualistischen Verständnisses geisteswissenschaftlicher und naturwissenschaftlicher Methodologien eingehen zu können.

schaftlichen Methodenbegriffs entwickelte sich bereits im neuzeitlichen Denken und brachte schließlich die Überzeugung hervor, „wissenschaftliches Wissen erlange seinen Sonderstatus durch die Anwendung der wissenschaftlichen Methode“ (Hoyningen-Huene 2011, S. 557).

In seinem Aufsatz *Philosophischer Ursprung und philosophische Kritik des Begriffs der wissenschaftlichen Methode* skizziert Hans BLUMENBERG (1952) dagegen die Genese der Idee von Wissenschaft als Methode – und zwar als „Art und Weise, in der die Philosophie ihrer Idee von Wahrheit ,nachgeht“ (Blumenberg 1952, S. 133). BLUMENBERG deutet Methode nicht objektivierend als „Weg“, sondern vom Erkenntnissubjekt ausgehend als ein *Nachgehen*, und zwar auch im Sinne von „einem Sachverhalt nachgehen, den Gang und Verlauf einer Sache im Blick behalten, theoretisch verfolgen“ sowie „einer Idee, einem Plan, einer Vorstellung nachgehen“ (vgl. ebd., S. 134). Dieses *Nachgehen* markiert Wissenschaft dabei für BLUMENBERG als „Instrument zu einem Ziel“, das aber nicht in den Wissenschaften selbst gefunden werden kann und das Wissenschaft „weder gefunden noch hervorgebracht“ hat (ebd., S. 133; H. i. O.).

Demgegenüber hat sich BLUMENBERG zufolge mit der Idee der *Scientific Method* ein Methodenbegriff etabliert, der nicht so sehr der Idee eines subjektiven Nachgehens nach einem höheren Ziel entsprang, sondern vielmehr der Einsicht, dass Erkenntnis der Wahrheit das einzelne, historisch verhaftete Subjekt *überfordert*. DESCARTES' Schrift *Discours de la Méthode* ist für BLUMENBERG „Ergebnis einer gründlichen Resignation“, nämlich hinsichtlich der Tatsache, dass die „Verwirklichung eines Wissenschaftsprogramms“ nicht im Rahmen eines einzigen Menschenlebens zu bewerkstelligen sei. So bestehe die Quintessenz von DESCARTES' Methode darin, dass „man das jeweils Geleistete für andere Glieder einer forschenden Menschheit und Generationenfolge in ihr verfügbar machen kann, und zwar derart, daß (sic!) nicht immer wieder die philosophische Ursituation des radikalen Anfangs erneuert werden muß (sic!)“ (Blumenberg 2020, S. 46). DESCARTES geht dabei von einem „umfassendere[n] Subjekt als das individuelle“, einem überhistorischen „Generalsubjekt“ aus. So kann er Methode auf Erkenntnisprozesse hin konzipieren, die „von der konkreten Wirklichkeit des einzelnen Denkers und Forschers ablösbar ist, die von einem auf den anderen beliebig übertragen, von Generation zu Generation übernommen werden kann“ (Blumenberg 1952, S. 135 f.). BLUMENBERG zeigt, dass die cartesische Methode auf der Annahme einer *subjektiven* und *objektiven Homogenität* basiert, gemeint ist damit die Homogenität der „Gegenstandssphäre“ und des „Erkenntnissubjekts“ (ebd., S. 137). Er skizziert entsprechend die unterliegenden Vorstellungen von einem einheitlichen „Universum der Erkenntnis“ sowie eines „Generalsubjekts“ (ebd., S. 135), das sich der Methode ungeachtet der eigenen Verfassung und Geschichtlichkeit unterwirft. Dabei bestimmen nicht ein übergeordneter *Telos*, sondern methodisches Denken und methodische Praktiken selbst den Kern wissenschaftlichen Handelns, Methode wird so zum Selbstzweck und Objektivität basiert allein auf der „*Strenge*“ der Methode (Blumenberg 1952, S. 136 f.; H. i. O.). Dieser Objektivierungsprozess gipfelt in der (mathematischen) Formel als „der verfügbaren Gestalt der ‚Wahrheit‘“, denn diese kann „widerstandslos weitergegeben [...] und gehandhabt“ werden (Blumenberg 1952, S. 141).

Subjektseitig geht BLUMENBERGs Kritik an der Scientific Method auch mit einer Kritik an der Entreflexivierung von Erkenntnisprozessen einher. BLUMENBERGs Kritik an DESCARTES' Idee eines Generalsubjekts bezieht sich dabei vor allem auf die dadurch betonte „funktionale Stellung“ des Menschen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess, in dem der Mensch „auf dem durch die Methode formal vorgezeichneten Weg“ Wissenschaft „auch ohne Einsicht in das Ganze, seine Fundamente und Ziele“ zu betreiben vermag (Blumenberg 1952, S. 141).

Eine solche Auffassung des Methodenbegriffs wirkt auch heute noch nach. „Wissenschaftliche Forschung“, so heißt es im Handbuch *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* von Nicola DÖRING und Jürgen BORTZ, suche „mithilfe anerkannter wissenschaftlicher Methoden und Methodologien auf der Basis des bisherigen Forschungsstandes [...] zielgerichtet nach gesicherten neuen Erkenntnissen“ (Döring/Bortz 2016, S. 7). Der Hinweis auf „anerkannte“ Methoden kennzeichnet methodisches Denken dabei als *gemeinschaftskonstituierende Konvention* einer Wissenschaftsgemeinschaft und damit als Ausdruck dessen, was in dieser Gemeinschaft als wissenschaftliches Wissen und wissenschaftliche Vorgehensweise gelten kann. Aufgrund ihres expliziten Duktus können Methoden zum Beispiel durch ihre Darlegung in entsprechenden Methodenhandbüchern Prozesse des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns konkretisieren und reproduzierbar machen, zugleich aber auch wissenschaftliche Gemeinschaften als Disziplinarverbünde festigen. Auch Methodendiskurse und deren unterliegende ‚Methodenlehren‘ bzw. Methodologien dienen so als Mittel der disziplinären bzw. fachlichen Abgrenzung. In Anknüpfung an ihre gemeinschaftskonstituierende Bedeutung übernehmen Methoden dabei auch eine ‚konservierende‘ Funktion, indem sie einerseits dafür sorgen, dass ‚das epistemische Rad nicht immer wieder neu erfunden werden muss‘, Wissenschaffende also nicht immer wieder neu nach Ansätzen suchen müssen, wie sie sich bestmöglich an ihren spezifischen Gegenstand oder ihr Forschungsfeld annähern können und vielmehr „das jeweils Geleistete für andere Glieder einer forschenden Menschheit und Generationenfolge [...] verfügbar“ machen können (Blumenberg 2020, S. 46). Sönke AHRENS argumentiert in diesem Kontext, dass der Erfolg moderner Wissenschaften auf ihrer Fähigkeit beruhe, „einmal erworbenes Wissen als *gewusstes Wissen* [...] zur Verfügung zu stellen“ (Ahrens 2014, S. 93 f.; H. i. O.), was auch auf den didaktisch-vermittelnden Impetus des Systems *Wissenschaft* deutet. Dabei geht es insbesondere darum, wissenschaftliches Wissen in Form von Daten, Texten, Technik „anderen wissenschaftlichen Arbeiten zur Verfügung zu stellen“, die dann „für jede weitere Forschung als *erschlossen* vorausgesetzt werden“ können (ebd., S. 93 f.; H. i. O.). Auch Methoden und methodisches Wissen dient, so meine ich, im Kontext der Wissenschaften als subjekt- und generationenübergreifendes ‚Speichermedium‘ – gleichermaßen aber auch die Technik. Denn immerhin hilft auch Technik dazu, „*Konsens ein[zu]sparen*“, schreibt Niklas LUHMANN und was „funktioniert, das funktioniert. Was sich bewährt, das hat sich bewährt. Darüber braucht man kein Einverständnis mehr zu erzielen“ (Luhmann 1997, S. 518; H. i. O.). Technik – so die Annahme – trägt dazu bei, im Kontext wissenschafts-methodischen Denkens gewusstes als bewährtes Wissen um Ursache-Wirkungs-Zusam-

menhänge zu objektivieren und zu materialisieren, um es für andere nutzbar zu machen, ohne dass Wissenschaftende das in die Technik eingeflossene Wissen und die Erfahrung der Entwicklerinnen und Entwickler jener Techniken genau kennen müssen, wie bereits diskutiert (vgl. Abschnitt 2.2.2). So begründen Elijah MEEKS und Scott WEINGART denn auch die eingehende Beschäftigung der Digital Humanities mit der Entwicklung digitaler Werkzeuge und Tools damit, dass diese als *Vergegenständlichung von Methoden* zu betrachten seien: „In digital humanities research we use tools, make tools, and theorize tools not because we are all information scientists, but because tools are the formal instantiation of methods“ (Meeks/Weingart 2012, S. 5). Tool-Entwicklung dient hier insbesondere der *Methodenreflexion*, zugleich aber auch der ‚Einschreibung‘ einmal expliziter Verfahren und Vorgehensweisen in ein Trägermedium.

Bedeutet dies, dass digitaltechnische Zugänge die cartesische Idee eines universellen, „zeit- und kontextlos“ (Hoyningen-Huene 2011, S. 557) gedachten Zugangs zu wissenschaftlicher Erkenntnis wieder vorstellbar machen? Zumaldest die Wissenschaftsforschung und Wissenschaftsphilosophie der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts würde die Frage aus unterschiedlichen Gründen verneinen. So zeigten u. a. die Arbeiten von Thomas KUHN (2014) und Paul FEYERABEND (1983) die Unhaltbarkeit einer als zeit- und kontextlos gedachten Form methodischen Denkens, wie sie im cartesischen Methodenbegriff zum Ausdruck kommt, Gezeigt wird darin, dass Prozesse wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns von zahlreichen – eben nicht ausschließlich formal-methodologischen – Faktoren beeinflusst werden, darunter psychologische, ökonomische oder politische Faktoren, die nicht universell, sondern kontextbezogen wirken und daher historisch sind. In Anlehnung an Ludwig FLECKS (2017) Auffassung vom *Denkstil* und *Denkkollektiv* wurden jene Faktoren u. a. im Begriff des *Paradigmas* von Thomas KUHN (2014) in den akademischen Diskurs eingeführt (vgl. Brühl 2021, S. 23). Die der Wissenschaft jeweils unterliegenden Denkstile bzw. Paradigmen kennzeichnen Wissenschaft auch als sozialen Prozess, in dem „Wissen über das Funktionieren von Instrumenten“ sowie die „Interpretation der dadurch gelieferten Daten“ auf Grundlage von Prozessen der Konsensfindung in der Wissenschaftsgemeinschaft entsteht (Rammert 2016, S. 209). Insgesamt ist in der Auffassung vom Paradigma bzw. vom Denkstil eine Auffassung vertreten, die die Perspektive von Wissenschaft als ahistorisches System des methodischen Regelbefolgens relativiert (vgl. Brühl 2021, S. 23).⁵²

⁵² Auch der Wissenschaftsphilosoph Alan CHALMERS (2007, 2013) hat sich mit den Bestrebungen der Wissenschaftsphilosophie beschäftigt, einen Universalitätsanspruch der Wissenschaftlichen Methode untermauen zu wollen (Chalmers 2013, S. xxi). Er argumentiert, dass die Festlegung von Kriterien für Wissenschaftlichkeit zwar berechtigt sind, diese müssten jedoch als zeitliche und damit veränderbare Kriterien gelten. „Universelle Methoden oder keine Methode sind [...] nicht die einzigen Alternativen. Es gibt einen Mittelweg, der darin besteht, dass es zwar Methoden und Maßstäbe gibt, diese sich jedoch von Disziplin zu Disziplin unterscheiden und auch innerhalb einer Disziplin verbessert werden können“. Das ist möglich, wenn Wissenschaft selbst als veränderbarer historischer Prozess aufgefasst wird, als „zeitlich nicht limitierte Suche nach Verbesserung unseres Wissens“ (Chalmers 2007, S. 132).

Zur Unhaltbarkeit einer als zeit- und kontextlos geltenden wissenschaftlichen Methode kommt jedoch noch hinzu, dass die in Methodenlehrbüchern oder einführenden Lehrveranstaltungen *explizierten* Methoden und Methodologien nicht immer deckungsgleich mit dem sind, was Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler tatsächlich *tun*, wenn sie neues Wissen generieren. Betrachtet man also eine wissenschaftliche Methode weiterhin als ‚Weg‘ wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns, so ist nicht zu vernachlässigen, dass dieser Weg abseits expliziter Lehrbuch-Systematiken auch auf *impliziten* Praktiken gründet.

Die pragmatische Erkenntnistheorie und später die anthropologisch und ethnografisch orientierte Wissenschafts- und Technikforschung haben gezeigt, dass eine rein „*forschungslogische* Formulierung“ (Wirth 2008, S. 36; H. i. O.) der Prozesse, die bei der Genese wissenschaftlichen Wissens zum Tragen kommen, irreführend ist. Dazu gehört u. a. die Einsicht, dass wissenschaftliche Prozesse viel mehr auf *Wissenskulturen* (vgl. Knorr Cetina 2002) als auf „formalisierten Methodologien“ basieren (Reckwitz 2003, S. 284). So hat die neuere Wissenschafts- und Technikforschung sowie ethnografisch-anthropologische Laborforschung die methodisch-methodologische Perspektive der Wissenschaftstheorie und Forschungspraxis einer Revision unterzogen (vgl. Knorr Cetina 1984, 2002; Latour 1987). Ihre Ansätze betonen den Experimental- und Werkstattcharakter wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit, bei der Wissensstrategien im Vordergrund stehen, die eher in Praxistheorien als in der Wissenschaftstheorie zu verorten sind. Andreas RECKWITZ zufolge gründen *Praktiken* auf einer informellen und impliziten Logik und sind in sozialen Prozessen sowie im praktischen Wissen und Können verankert (vgl. Reckwitz 2003, S. 282). Naturwissenschaften sind dabei als „heterogener Komplex von [...] informellen Verhaltensroutinen ‚at work‘“ (ebd., S. 284) zu verstehen, die auf implizitem Wissen basieren. Letzteres wird meist in wissenschaftlichen *Sozialisationsprozessen* im Rahmen der wissenschaftlichen Ausbildung entwickelt, so beispielsweise durch Beobachtungspraktiken, materiale Praktiken im Experiment sowie auch mathematische Praktiken (vgl. Nola/Sankey 2014, S. 13).

Im Kontext der Genese von Methodenwissen in der qualitativen Sozialforschung sind hierfür beispielsweise auch *Forschungswerkstätten* von Bedeutung, die als Transfer- und Erprobungsräume u. a. auch dem wissenschaftlichen Nachwuchs zugute kommen. Der Werkstattbegriff suggeriert hier, dass mit Methoden sowie Erkenntnisgegenständen praktisch „gearbeitet“ werden kann. Dabei werden beispielsweise Daten wie Interviewtranskripte oder Videos gemeinsam in der Gruppe interpretiert. In diesem Sinne ließe sich eine methodische Forschungswerkstatt als Form des situierten Lernens deuten, bei der „die Novizen zunächst einige Sitzungen lang zuschauen können, wie es gemacht wird“. Hier entsteht Methodenwissen als „konjunkтивes Wissen vom Interpretieren“, in dessen Genese vor allem der „mimetische Aspekt zentral“ ist: „Novizen werden durch das Vormachen der ‚bescheidenden Meister*innen‘ und der fortgeschrittenen Teilnehmenden in einem ‚Kollektiv der Interpretierenden‘ auf habituellem Wege in eine Forschungspraxis einsozialisiert“ (Schäffer/Klinge/Krämer 2021, S. 165).

Im Spannungsfeld zwischen explizit kodifiziertem methodischem Regelwissen (z. B. in Methodenhandbüchern) einerseits und dem praktischen, aber häufig schwer artikulier-

baren *Können* andererseits, prägte der Naturwissenschaftler und Philosoph Michael POLANYI den Begriff des *tacit knowing* (vgl. Polanyi 2016) sowie des *persönlichen Wissens* (vgl. Polanyi 2002). In seiner Schrift *Personal Knowledge* nimmt POLANYI überzogene Objektivitätserwartungen an wissenschaftliche Erkenntnisarbeit in den Blick und zeigt, dass das persönliche, implizite Wissen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einen zentralen Faktor in wissenschaftlichen Erkenntnisprozessen darstellt (Polanyi 2002, S. 18). Er interpretiert dabei den Begriff der *technē* als *Kunst*, jedoch anders als HUSSERL, der von „bloßer Kunst“ spricht, wenn er auf den „*Formelsinn*“ naturwissenschaftlichen Vorgehens seiner Zeit rekurriert (Husserl 2012, S. 49; H. i. O.). Für POLANYI basiert der Kunstcharakter des persönlichen Wissens (*technē*) auf der spezifischen (persönlichen, subjektiven) *Kunstfertigkeit* (“skill”) und der *Leidenschaft* der Wissenschaftenden (vgl. Polanyi 2002, S. 17). Dabei geht es POLANYI nicht darum, das explizierbare Wissen an sich in Abrede zu stellen, sondern darum, deutlich zu machen, dass alle Wissenvorgänge auch auf impliziten Wissensbestandteilen beruhen. Alles Wissen ist POLANYI zufolge „*either tacit or rooted in tacit knowledge. A wholly explicit knowledge is unthinkable*“ (Polanyi 1969, S. 144; H. i. O.). Daher laufe das „Ideal der Beseitigung aller persönlichen Elemente des Wisses *de facto* auf die Zerstörung allen Wissens“ hinaus (Polanyi 2016, S. 27). Für die in der Studie gestellte Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen bietet die Theorie des impliziten Wissens Anknüpfungspunkte für die Frage nach dem Umgang mit denjenigen digitaltechnischen Dimensionen, die aufgrund von Intransparenzen und Opazität stets implizit verbleiben (vgl. Abschnitt 6.2.1).

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass dem methodische Denken historisch betrachtet häufig Universalitätsansprüche unterlagen, die unterliegende Denkstile und Paradigmen zugunsten einer ahistorischen Deutung der Möglichkeiten der Wissensgenese vernachlässigten. Und dies entbehrt auch nicht einer gewissen Folgerichtigkeit, denn, wie erwähnt, muss das ‚Rad nicht immer wieder von Neuem erfunden werden‘ und die Möglichkeit, jenes ‚Nachgehen‘ zu systematisieren und zu kodifizieren, sorgt auch stets für die Transparenz des jeweils eingeschlagenen ‚Weges‘. Auch wenn das in Methodenlehrbüchern kodifizierte Methodenwissen nicht immer das reflektiert, was Wissenschaftende tatsächlich tun, um zu neuem Wissen zu gelangen, so kommt dem in den jeweiligen wissenschaftlichen Gemeinschaften kultivierten methodischen Denken sowie letztlich auch der (ob expliziten oder impliziten) Entscheidung für ein *bestimmtes* methodisches Vorgehen dennoch ein erheblicher *formierender* Charakter zu, den Theodor LITT auch als *bildende* Funktion der Methode beschrieben hat, wie im Folgenden näher erläutert wird.

Theodor LITTS Trias von Subjekt – Methode – Objekt

In seiner Schrift *Naturwissenschaft und Menschenbildung* (1954) entfaltet der Philosoph und Pädagoge Theodor LITT eine Bildungsperspektive auf die Naturwissenschaften, indem er die Bedeutung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Methode für die Formierung von Selbst- und Weltverhältnissen analysiert und der wissenschaftlichen Methode einen *bildenden Charakter* attestiert. Im Blick hat er dabei den naturwissenschaftlich-

mathematischen Erkenntnistypus, dessen wesentliches Merkmal für ihn in der „Vergegenständlichung“ bzw. „Versachlichung“ von Weltbezügen liegt, die dadurch in „mathematische[n] Relationen“ (Litt 1954, S. 16) ausdrückbar werden.

LITT setzt sich in seiner Skizzierung von Methode zunächst von einem instrumentalen Methodenbegriff ab, der Methoden als „Werkzeuge“ bzw. „Instrumente“ des Denkens“ begreift. An der Auffassung von Methode als Werkzeug kritisiert er, dass damit die Auffassung einherginge, die naturwissenschaftlich-mathematische Methode ließe sich unmittelbar auch auf Gegenstandsbereiche verallgemeinern, für die sie nicht eigens entwickelt worden war (Litt 1954, S. 21). Als originären Entwicklungsort und Gegenstand der naturwissenschaftlich-mathematischen Methode macht LITT den „Bereich des Anorganischen“ aus und da die Methode ihre „Bewährungsprobe“ darin „so glänzend bestanden“ hätte, sei es LITT zufolge nur verständlich gewesen, sie als „einzig gültige und deshalb allerwärts zuständige Methode der Wirklichkeitserfassung“ (ebd., S. 21 und 77) zu propagieren. LITT zufolge sei es dabei fälschlicherweise als Stärke der Methode betrachtet worden, dass diese sich „vom Gegenstand ablösen“ ließe, wie auch HUSSERL und BLUMENBERG in ihrer Kritik der „Ursprungsvergessenheit“ der Methode zum Ausdruck gebracht hatten (vgl. Abschnitt 2.2.1). In Aberkennung der Historizität der Methode und damit verknüpften stets lokalen, situativen Kontexten wissenschaftlichen Handelns sei diese „von den Gegenständen, an denen sie sich zuerst erprobte, auf völlig andersartige Gegenstände übertragen“ worden (Litt 1954, S. 56).

Gegen eine solche universelle Deutung des Methodenbegriffs skizziert LITT Methode vielmehr als relationales Konstrukt, das sich ausschließlich in seiner Relation zum jeweiligen *Subjekt* und *Objekt*, und damit im Rahmen einer „Trias“ (Litt 1954, S. 55–60), deuten lässt. Dabei steht methodisches Denken und Handeln in einem unauflösbar Wechselverhältnis mit dem jeweiligen forschenden Subjekt und (Forschungs-)Objekt bzw. dem Forschungsgegenstand. LITT fragt damit nach dem „Wesen der Beziehungen“ zwischen dem „Instrument, dem durch das Instrument zu bearbeitenden Gegenstand und dem das Instrument handhabenden Menschen“ (ebd., S. 55). LITTS Vorstellung von Methode, die sich stets in einem relationalen Gefüge mit dem Erkenntnissubjekt und Forschungsobjekt befindet, kann dabei insofern als *performativ* verstanden werden, als dass sie einen Prozess der „Umbildung“ markiert, der sowohl das Erkenntnissubjekt als auch den Erkenntnisgegenstand betrifft. Umbildung im Hinblick auf das *Subjekt* deutet dabei auf die über das methodische Denken sich vollziehende Transformation, die einen Menschen erst zum *wissenschaftlich handelnden Subjekt* macht und es ihm ermöglicht, Forschungsobjekte als solche überhaupt zu erkennen.

LITT kritisiert, dass dieser Bildungsprozess häufig gleichgesetzt würde mit dem Erwerb der Fähigkeit von Wissenschaftlern, eine Methode als Instrument zu beherrschen, dass also „Umbildung“ zum wissenschaftlich erkennenden Subjekt im *Anwenden* der Methode bestünde. Dagegen argumentiert LITT, dass es sich bei der Umbildung zum wissenschaftlichen Subjekt und dem methodischen Denkvorgang um ein und denselben Vorgang handle, denn die Umbildung geschehe ja gerade dadurch, dass „der Mensch den frei dahinflutenden Strom seiner Erlebnisse nach Maßgabe der logischen Prinzipien, auf denen

die Methode beruht, eindämmmt, reguliert und auf bestimmte Erkenntnisziele hin ausrichtet. Er blickt nicht auf sich selbst, er modelliert nicht an sich selbst: er blickt auf die Sache, er formt an der Sache. [...] Die Bemühung um die Sache aber ist als solche nichts anderes als das Sichdurchdringen der Methode“. Mensch und Methode sind also in einem „Regulierungsprozeß (sic!) miteinander verbunden“, in dem „jene logischen Prinzipien“ fern davon sind, „dem Menschen als von ihm abgetrennte oder abtrennbare ‚Instrumente‘ die von ihm gewünschten Dienste zu tun“. Vielmehr werden „Mensch und Methode [...] eins in dem Sinne, daß (sic!) der Mensch [...] sich nach den in ihr liegenden Anweisungen richtet“ (Litt 1954, S. 57; H. i. O.). Durch diese „Fügsamkeit“ ist das Subjekt in der Lage, die „Besonderheiten persönlichen Daseins“ zurückzuweisen, um als „Platzhalter des allgemeinen Verstandes“ – und damit als *Generalsubjekt* (s. o.) – zu fungieren. Diese „Umorganisierung“ kann nur erfolgen, wenn das Subjekt sich „in die Methode gleichsam hineinbildet“ und sich damit auch selbst „methodisiert“ (Litt 1954, S. 58).

Sich selbst zu „methodisieren“ hat dabei auch Auswirkung auf das, was in der Wissenschaftsauffassung des Kritischen Realismus gemeinhin dem „Einfall“ zugeschrieben wird. Der Einfall, der nach Karl POPPER das erstmalige Aufstellen einer dann zu belegenden Hypothese ermöglicht, ist bei POPPER keine Frage der Erkenntnistheorie, sondern vielmehr der Psychologie (Popper 1984, S. 6). Aber ‚Einfälle‘ fallen LITT zufolge dem forschenden Subjekt nicht einfach zu, hätte es nicht „zuvor in methodisch diszipliniertem Denken um die Lösung eben dieses Problems gerungen. Dem nicht durch die Schule der Methode gegangenen Kopf sind sachdienliche Einfälle versagt“. Methodisches Denken formiert damit nicht nur den Erkenntnisvorgang, sondern führt Forschende überhaupt erst auf den Weg, bestimmte Fragen zu stellen: „Methode setzt den Forscher nicht bloß in den Stand, ein unabhängig von ihr gewonnenes Ergebnis nachträglich zu beweisen, sie bringt ihn auch auf den Weg, der zum Ergebnis führt“ (Litt 1954, S. 58). Im methodischen Denken vollzieht sich im Menschen eine Wandlung, nämlich von einer „un- oder vorwissenschaftlichen Weltempfängnis“ hin zu einer „methodisch disziplinierten“ (ebd., S. 78). Gibt man LITTS Bildungsperspektive Recht, kann es im Rahmen der Entdeckung daher keine voraussetzunglosen Zufälle oder Einfälle geben, es kann vielmehr nur das entdeckt werden, was dem jeweiligen forschenden Subjekt aufgrund seiner wissenschaftsmethodischen Sozialisierung bzw. Vorstrukturierung als das „Fällige“ zufallen kann, wie Max FRISCH (Frisch 1991, S. 542)⁵³ es einmal formulierte. Ähnlich betont auch Hans-Georg GADAMER in *Wahrheit und Methode* (1975), dass Verstehensleistungen des Menschen mit spezifischen *Vorurteilsstrukturen* einhergehen, die jeden Verstehensprozess bedingen, Vorurteile sind für GADAMER also „*Bedingungen des Verstehens*“ (ebd., S. 261; H. i. O.).

⁵³ Max FRISCH schreibt in seinem Tagebuch (1946–1949): „Das Verblüffende, das Erregende jedes Zufalls besteht darin, daß (sic!) wir unser eigenes Gesicht erkennen; der Zufall zeigt mir, wofür ich zur Zeit ein Auge habe, und ich höre, wofür ich eine Antenne habe. Ohne dieses einfache Vertrauen, daß (sic!) uns nichts erreicht, was uns nichts angeht, und daß (sic!) uns nichts verwandeln kann, wenn wir uns nicht verwandelt haben, wie könnte man über die Straße gehen, ohne in den Irrsinn zu wandeln? [...] Am Ende ist es immer das Fällige, was uns zufällt“ (Frisch 1991, S. 542).

Wird der Mensch durch die Vorstrukturiertheit seines Denkens bzw. seine Vorurteile also immer das ihm „Fällige“ erkennen, so muss heute im Zusammenhang algorithmisch organisierter digitaltechnikbasierter Wissensprozesse auch gefragt werden, welche Vorstrukturen die digitale Technik und algorithmische Prozesse, in etwa im Kontext von Big-Data-Analysen, in die Wissensproduktion mit einbringen, welche sie aber vielleicht auch sichtbar zu machen helfen. Algorithmische Datenanalysen basieren, wie bereits gezeigt, häufig auf probabilistischen Verfahren sowie auch auf algorithmischen Vorräumen auf mögliches menschliches Verhalten. Dadurch kommt ihnen einerseits ein spekulativer Charakter zu (vgl. Abschnitt 3.3). Zugleich können sie aber auch vom Menschen schwer zu entdeckende Strukturen sichtbar machen und Menschen so zu neuen ‚Einfällen‘ verhelfen (vgl. Abschnitt 5.2.2). Dabei entbehren gerade Algorithmen auch nicht ihrer eigenen Vorurteilsstrukturen (vgl. boyd/Crawford 2013; vgl. auch Friedman/Nissenbaum 1996, S. 333–335) und reihen sich somit quasi als neue – digitaltechnische – Komponente in die von LITT entfaltete Trias von Subjekt, Methode respektive Technik und Objekt.

So wie LITT die Umbildung zum Wissenschafts-Subjekt als durch methodisches Denken induzierten Bildungsprozess beschreibt, so beschreibt er auch die Neuformierung des Forschungs-*Objekts* durch die Methode als Transformation eines Weltverhältnisses, in dem auch der Forschungsgegenstand als Objekt „auf dieselbe Methode hingeordnet“ wird (Litt 1954, S. 59). Besonders deutlich wird das LITT zufolge in der in den Naturwissenschaften bedeutsamen Wechselbeziehung von *Hypothese* und *Experiment*. So gebe es einerseits keine Hypothese, die „nicht schon durch ihre mathematische Form sich als Gabe des durch die Methode strukturierten Denkens beglaubigte“ (ebd., S. 59). Das heißt, dass bereits die Bestimmung eines Erkenntnisobjekts bzw. Forschungsgegenstands ein Produkt methodischen Denkens ist. Andererseits existiere auch keine Hypothese, ohne dass diese „nicht die Bestätigung durch das Experiment einholen müßte (sic!), um als gültige Erkenntnis anerkannt zu werden“ (ebd., S. 59). Könnte sich methodisches Denken in den Naturwissenschaften, so erwägt LITT weiter, „im idealen Medium der reinen Konstruktion von Hypothese zu Hypothese“ fortbewegen, ohne dabei „Wirklichkeit“ zu befragen, dann könnte ein naturwissenschaftliches Erkenntnisobjekt in der Tat als etwas „außerhalb“ gelten, nämlich als ein klar von seiner methodischen Reflexion unterscheidbares „Raumding“. Da naturwissenschaftliche Erfahrung – und LITT bezieht sich in seiner Abhandlung immer wieder auf die Vernunftkritik von Immanuel KANT – ohne die Befragung der äußeren Wirklichkeit bzw. Natur nicht möglich ist, „muß (sic!) sich das methodische Denken wieder und wieder dem Gericht der zu erkennenden Wirklichkeit stellen“, da keine Hypothese „die Gewähr ihrer Gültigkeit in sich selber“ tragen könne. In dieser Abhängigkeit der Hypothese von der Erfahrung zeigt sich für LITT die „Unlöslichkeit“ der Methode vom Objekt (ebd., S. 59), wobei zugleich Objekt nur dasjenige sein kann, das „durch die Methode geformt ist“ (ebd., S. 73).

Verfechter der mathematischen Naturwissenschaft, so kritisiert LITT, gingen dagegen von einer ontologischen Deutung von Natur aus, also einer die bereits „an sich“ vorhanden und zugänglich ist, unabhängig davon, ob im Rahmen der Naturwissenschaften nach

dieser „gesucht“ werde. Nach dieser Auffassung hätte Methode dann lediglich die Funktion, das „ohne ihr Zutun Vorhandene[...] wie es ist, aufzunehmen und festzuhalten“. Es sei daher nachvollziehbar, dass Naturwissenschaften nicht selten die Fähigkeit für sich beanspruchten, das KANT’sche „*Ansich*“ als wahres Wissen aufdecken zu können (LITT 1954, S. 73 f.; H. i. O.), denn sonst müsste dessen Geltung auf die „formgebende Tätigkeit des Subjekts“ zurückgeführt werden. Hier setzten sich die Naturwissenschaften aber LITT zufolge einem selbstaufgeriegelten Entweder-oder aus: „entweder Erfassen des ‚Ansich‘ oder subjektivistische Auflösung“ (ebd., S. 74). LITT argumentiert dagegen, dass Methode „so wenig dazu da [ist], ein von ihr Unabhängiges aufzuzeigen, wie ein von ihr Abhängiges hervorzubringen“ (ebd., S. 74 f.). Vielmehr käme es auf die Erfassung der „Wechselbezogenheit“ der drei Glieder an: „Es bilden also Subjekt, Methode und Objekt eine Trias, die ihre Glieder im Sinne strengster Wechselbezogenheit zusammenhält. In dieser Trias ist die Methode die Mitte, durch die die beiden äußeren Glieder aufeinander bezogen werden. Der Mensch wird *Subjekt*, indem er sich nach Anweisung der Methode auf das Objekt hin ausrichtet. Das Wirkliche wird *Objekt*, indem es sich nach Anweisung der Methode dem Subjekt entgegenformt. [...] Kein Glied dieser Trias ist außerhalb des Beziehungsgefüges, aus dem sich sein Wesen bestimmt, als ein für sich Bestehendes aufzufinden“ (LITT 1954, S. 60).

LITTS Trias von Subjekt, Methode und Objekt findet heute auch in zeitgenössischen Ansätzen der Systematisierung von Wissenschaft einen Widerhall. Matthias RATH verweist in diesem Kontext auf formale Kriterien in der Wissenschaftstheorie, die Wissenschaft in einer ähnlichen dreidimensionalen Systematik konturieren, wie das bei LITT der Fall ist. Systematisiert wird Wissenschaft dabei – verallgemeinert gesprochen – in den Kategorien von *Materialobjekt*, *Formalobjekt* und *Methode* (vgl. Rath 2014, S. 164 f.; Rath 2019a, S. 31 f.). Materialobjekt bezieht sich dabei auf das Erkenntnisobjekt, das wissenschaftlich untersucht werden soll und das ein „Phänomen der Wirklichkeit“ (Rath 2014, S. 164) darstellt und in etwa mit dem von LITT gemeinten „Objekt“ analogisierbar ist, wobei Materialobjekt sehr viel offener verstanden wird als in LITTS naturwissenschaftlich geformter Perspektive. Während das Materialobjekt im Grunde auch ohne wissenschaftliche „Befragung“ existiert, repräsentiert das *Formalobjekt* bereits eine wissenschaftlich bzw. auch disziplinär geformte Perspektive auf den Erkenntnisgegenstand und kommt daher sowohl LITTS bereits „disziplinierte[m]“ (LITT 1954, S. 78) Erkenntnissubjekt als auch BLUMENBERGS „Generalsubjekt“ (Blumenberg 1952, S. 135) nahe. Demnach ließe sich sagen, dass das Formalobjekt den nach den Kriterien der jeweiligen wissenschaftlichen Gemeinschaft geformten „Blick“ auf einen Erkenntnisgegenstand darstellt. Methode als sowohl „Weltzugänge“ als auch „Auswertungsverfahren“ stellt wiederum den „Weg der Erkenntnisgewinnung“ (Rath 2014, S. 165) dar und deckt sich somit auch mit dessen Bedeutung bei LITT und auch BLUMENBERG.

Was in der neueren Systematisierung dieser Trias von Materialobjekt, Formalobjekt und Methode etwas weniger zum Ausdruck kommt, ist jedoch die Relationalität der Kategorien, auf die es mir im Rahmen dieser Studie allerdings ankommt, konkret: Was bedeutet methodisches Denken und Handeln für die Konstitution von Erkenntnisobjekt bzw.

Materialobjekt sowie Erkenntnissubjekt bzw. Formalobjekt? Wie formt das gewählte Vorgehen bzw. der gewählte Weltzugang sowohl die Bestimmung dessen, was als Erkenntnisobjekt gelten soll als auch die Perspektivierung, unter der sich Erkenntnissubjekte als wissenschaftliche Gemeinschaften dem Gegenstand nähern? Zentral sind diese Fragen deshalb, da in der hier vorgenommenen Analogisierung von Methode und Technik daran auch die Frage geknüpft ist, welche Bedeutung der Technik, und hier vor allem der digitalen Technik, in dieser Trias von *Erkenntnissubjekt*, Methode respektive *Technik* und *Erkenntnisobjekt* zukommt. Zu eruieren ist also im weiteren Verlauf der Studie, was diese Deutung methodischen Denkens in den Wissenschaften für das Verhältnis der Wissenschaftenden zur (digitalen) Technik bedeutet. InwiefernwohntauchderdigitalenTechnikein„bildendes“Momentinne, das sowohl Erkenntnisobjekte den Wissenschaftenden auf eine bestimmte Art und Weise „entgegenformt“, als auch die Verstehensmöglichkeiten der Erkenntnissubjekte diszipliniert? Was ist dabei das „Fällige“, das durch technische bzw. digitaltechnische Werkzeuge und Infrastrukturen in Forschungsgegenständen erkannt werden kann? Inwiefern kann digitale *Technik als Methode* zugleich aber auch experimentell an der Erfahrungswirklichkeit erprobt und reflektiert werden? Welche Handlungsmöglichkeiten werden Wissenschaftenden in ihr eröffnet?

In diesem Zusammenhang spricht Dietrich BENNER (2020) in seinem *Umriss der allgemeinen Wissenschaftsdidaktik* der von LITT entfalteten Trias auch ein übergreifendes reflexives Potential zu: So ist die von LITT am naturwissenschaftlichen Erkenntnismodus entfaltete Trias für BENNER auch von übergreifender wissenschaftsdidaktischer Relevanz (vgl. Benner 2020, S. 174–183), da sich der von LITT aufgezeigte Zusammenhang von Subjekt, Objekt und Methode für alle möglichen Wissensformen und Erkenntnisparadigmen auch jenseits der „mathematisierenden oder rechnenden Wissenschaft“ feststellen lasse (ebd., S. 182). So liegen die von LITT herausgearbeiteten subjekt- und objektformierenden Eigenschaften spezifischer Weltzugänge und Methoden auch anderen Erkenntnismodi und Wissensformen zugrunde, in denen „Methoden auf verschiedene Art und Weise zwischen den Formierungen forschender Subjekte und der Konstitution wissenschaftlicher Objektivität vermitteln“ (ebd., S. 182). Das erreichen jene einerseits „durch die begriffliche Fassung spezieller Zusammenhänge von Erfahrung, Wissen und Wissenschaft“, andererseits „durch ihre nicht nur theoretische, sondern auch praktische Bedeutung für Theorieentwicklung und Forschung“ sowie drittens „durch ihre implizite und explizite wissenschaftsdidaktische Bedeutung“ (ebd., S. 182). Identifizierbar ist die von LITT aufgezeigte Trias dabei BENNER zufolge in einer Vielzahl wissenschaftlicher Weltzugänge, von der von „Aristoteles begründeten teleologischen, der von Galilei und Bacon begründeten induktiv-scientifischen, der auf Newton und Popper zurückgehenden hypothetisch-deduktiven oder falsifikatorischen Wissensform“ bis hin zu den „von Dilthey, Droysen, Gadamer und Ritter ausgearbeiteten geisteswissenschaftlichen und dem von Husserl grundgelegten phänomenologischen Paradigma sowie an der von der Kritischen Theorie ausgearbeiteten gesellschafts- und ideologiekritischen Wissensform“ (ebd., S. 182). Die wissenschaftsdidaktische Bedeutung der von LITT entwickelten Trias liegt daher für BENNER darin, „dass sie heute neue Anschlussmöglichkeiten in alle Richtungen ermöglicht“

(ebd., S. 183), und damit als Reflexionsmodell für ein Nachdenken über methodisch ‚disziplinierte‘ Formen der Entwicklung von Selbst- und Weltverhältnissen dienen kann. In der im letzten Teil der Studie in den Blick genommenen Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen wird LITTS Trias im Hinblick auf die Diskussion eines reflexiven Kompetenzbegriffs nochmals kurSORisch aufgegriffen (vgl. Abschnitt 6.1.2).

In den folgenden Abschnitten steht jedoch zunächst die Bedeutung der *Technik* für die Wissenschaften im Fokus. Dabei geht es mir in Anschluss an LITT zunächst um die Frage, wie Technik insbesondere die naturwissenschaftliche Erkenntnisarbeit schon seit langer Zeit ‚diszipliniert‘. Vor der in Abschnitt 5 erfolgenden Analyse *digitaltechnikbasierter* Erkenntnisarbeit erfolgt im folgenden Abschnitt daher eine ideengeschichtliche Hinführung, in der Technik als Strukturmerkmal und ‚Bildung‘ der Wissenschaften kurSORisch in den Blick genommen wird: Was genau haben Wissenschaft und Technik eigentlich miteinander zu tun?

4.2 Technik als Bildung der Wissenschaften

Glaubt man der Auffassung einer langen Traditionslinie abendländischer Philosophie sollten ‚wahre‘ Wissenschaft und Technik eigentlich kaum Überschneidungspunkte haben. Die tradierte Unterscheidung von Wissenschaft und Technik in der abendländischen Denktradition grenzt die Welt, „in welcher der Mensch denkt und erkennt“ und die Welt, „in der er lebt und handelt“ kategorisch voneinander ab (Bammé 2014, S. 49). So folgen daran anknüpfende Wissenschaftsbegriffe „eher dem Muster des kontemplativ-beschauenden Erfassens der Welt“ (Zimmerli 2010, S. 121). *Epistêmê*, so Walter ZIMMERLI, meint klassischerweise „die – idealistisch oder materialistisch interpretierte – Repräsentation der Welt durch den Menschen“, die sich heute auch in vielen Vorstellungen von *Wissenschaft* wiederfindet und die klassischerweise als kontemplativ-erfassende Form der Welterschließung gilt. Demgegenüber betont *technē* das *Können* im Sinne einer besonderen *Kunstfertigkeit*. Zur Unterscheidung der Begriffe *epistêmê* und *technē* formuliert die *Standford Encyclopedia of Technology*: “*Epistêmê* is the Greek word most often translated as knowledge, while *technē* is translated as either craft or art. These translations, however, may inappropriately harbor some of our contemporary assumptions about the relation between theory (the domain of ‘knowledge’) and practice (the concern of ‘craft’ or ‘art’)” (Parry 2003, o. S.; H. i. O.; zit. nach Frabetti 2011, S. 3). In den gängigen Übersetzungen von *epistêmê* und *technē* wird also bereits ein kulturell formiertes Verständnis transportiert, das die im abendländischen Denken tradierte Trennung von Technik als weltgestaltende und Wissenschaft als welttheoretisierende Formen der Welterschließung unterscheidet (vgl. u. a. Frabetti 2011, S. 3). Die kulturgeschichtlich tradierte Trennung von Wissen und Können, Wissen und Arbeit sowie Wissen und Handwerk prägte dabei nicht nur abendländische Erkenntnistheorie, sondern auch Auffassungen von *Bildung* bis ins ausgehende 20. Jahrhundert und klingt auch in der sowohl in wissenschaftlichen als auch bildungsbezogenen Kontexten nach wie vor prominenten Differenz-

ierung von *Theorie* und *Praxis* (vgl. Zimmerli 2010, S. 121) bzw. *Theorie* und *Anwendung* nach.

Dass aber Wissenschaft seit der frühen Neuzeit vielmehr von der Idee des technischen Handelns geprägt ist, hat u. a. Hans BLUMENBERG herausgearbeitet (Blumenberg 2020, 2015b). BLUMENBERG entfaltete in diesem Zusammenhang Technik als „Strukturmerkmal“ und damit als „intrinsisches Problem neuzeitlichen Denkens“ (Müller 2008, S. 114). Ausgangspunkt für diese Transformation neuzeitlichen Denkens bildet für BLUMENBERG die im sogenannten Universalienstreit ausgefochtene Debatte um das Nominalismus-Theorem (vgl. ebd., S. 106). Mit der nominalistischen Grundidee, nach der allgemeine Begriffe eine Entsprechung lediglich im menschlichen Denken, nicht aber in der empirisch fassbaren Realität finden, wurde die scholastische Auffassung, dass etwas real Gegebenes sich dem Menschen im Prozess der Wahrheitssuche *offenbart*, abgelöst von der Vorstellung der Wahrheitsfindung als aktiver *schöpferischer* Prozess. Während nämlich scholastisches Denken noch von der Auffassung geprägt war, dass Wahrheit sich im „dialektischen Kräftespiel“ der Disputatio *herausstellt* (ebd., S. 134 f.; vgl. auch Blumenberg 2015c, S. 43), lässt sich Wahrheit in neuzeitlicher Auffassung nicht einfach auffinden, sondern wird „nach Maßgabe des Intellekts geformt“ (Müller 2008, S. 105). Als Ausdruck dieser Wende gilt DESCARTES’ Idee des *methodischen Zweifels* (Blumenberg 1952, S. 134) und damit die Vorstellung, dass „das Denken die Voraussetzungen seines Zuganges zur Wahrheit nicht mehr einfach ‚hinnehmen‘“ kann (ebd., S. 135). *Methodischer Zweifel* bedeutet also das Infragestellen eines bislang angenommenen Automatismus in der Erkenntnisfähigkeit des Menschen, bei dem davon ausgegangen wird, dass Wahrheit im Aufeinandertreffen „der Thesen und Argumente“ zwangsläufig augenscheinlich wird (Blumenberg 1952, S. 134). Bezeichnenderweise wurde gerade durch die christliche Vorstellung einer *creatio ex nihilo* der antike Kosmos des „selbstverständlichen Vorhandenseins“ durch den Schöpfungsgedanken abgelöst (Müller 2008, S. 105). Denn wenn Welt wie in der antiken Vorstellung vom Kosmos nicht einfach gegeben ist und erschaffen werden kann, kann prinzipiell auch der Mensch schöpferisch tätig sein. Der Schöpfungsakt ist BLUMENBERG zufolge aber „technischer“ Urakt“ (vgl. Blumenberg 2015a, S. 21) und Technisierung zugleich Grundlage des Transformationsprozesses von einer antiken und scholastischen hin zu einer neuzeitlichen Epistemologie. Gerade das „Bewusstsein der Welt als geschaffener, als ‚factum‘“ wurde dabei zur Grundlage „für die demiurgischen Impulse der modernen Technik“ (Müller 2008, S. 105; vgl. auch Blumenberg 2015c, S. 50).

In seiner erkenntnistheoretischen Schrift *Die Suche nach Gewißheit* beschreibt auch der Sozialphilosoph und Erkenntnistheoretiker John DEWEY (1998) den Übergang von einer vom antiken und mittelalterlichen Denken in eine vom neuzeitlichen Denken geprägte Wissenschaft und bezieht sich dabei auf die von Immanuel KANT formulierte „Revolution der Denkart“. KANTS These in der *Kritik der reinen Vernunft*, dass „Vernunft nur das einsieht, was sie selbst nach ihrem Entwurfe hervorbringt“ (Kant 2017, BXIII, S. 25), wird von DEWEY handlungsorientiert als Konsequenz eines praktischen Tuns und Experimentierens ausgelegt (vgl. auch Bammé 2014, S. 39 und 45). Ähnlich wie BLUMENBERG

den Wandel vom scholastischen zum neuzeitlichen Denken vor dem Hintergrund der Technisierung deutet, hatte zuvor bereits DEWEY die Entwicklung eines praktischen, handlungsorientierten Erkenntnis- und Wahrheitsbegriff analysiert, der u. a. für die Erkenntnistheorie des Pragmatismus bedeutsam wurde. Für das 16. und 17. Jahrhundert konstatiert DEWEY einen „Wandel der Erkenntnismethode“, die mit einer „Umkehrung der traditionellen Beziehung von Erkenntnis und Handeln“ einhergeht (Dewey 1998, S. 88). Während DEWEY die griechische und mittelalterliche Erkenntnistheorie noch in einem Denken verhaftet sieht, das darin bestand, „Dinge so hinzunehmen, wie sie genossen und erlitten werden“, so deutet er neuzeitliche Wissenschaft als „Kunst der Beherrschung“ (Dewey 1998, S. 102; vgl. auch Bammé 2014, S. 45 und 48), bei der Natur zum „Material“ wird, „auf das man einwirken muß (sic!), um es in neue Objekte zu transformieren, die unseren Bedürfnissen besser genügen“ (Dewey 1998, S. 103). Der Übergang von einer vorneuzeitlichen in eine neuzeitliche Wissenschaft zeigte sich dabei im „Übergang vom Qualitativen zum Quantitativen oder Metrischen; vom Heterogenen zum Homogenen; von innwohnenden Formen zu Relationen; von ästhetischen Harmonien zu mathematischen Formeln; von kontemplativem Genuß zur aktiven Handhabung und Beherrschung“ (ebd., S. 97).

Mit diesem Übergang einher geht für DEWEY insbesondere die Abkehr vom „qualitativen Charakter [...]“ (Dewey 1998, S. 95) griechischer Erkenntnistheorie, die vor allem an den „qualitativen Eigenschaften“ natürlicher Phänomene interessiert war. Diese fanden ihren Ausdruck in „logischen Eigenschaften“ wie „Harmonie, Proportion oder Maß und Symmetrie“ (ebd., S. 93) und selbst Geometrie und Zahl galten dabei als ästhetisch-qualitative Kategorien, die nach den Prinzipien von Maß und Symmetrie zu beurteilen waren (vgl. ebd., S. 95). DEWEY zufolge war die Revolution neuzeitlichen wissenschaftlichen Denkens schließlich ein Resultat der Suche nach Beschreibungen für Erkenntnisgegenstände, die in der Lage waren, diese als *modifizierbares* Material zu fassen. Von der griechischen Wissenschaft, die „das sinnliche Material so [akzeptierte], wie es erschien“ (ebd., S. 92), unterscheidet sich DEWEY zufolge die experimentelle Methode neuzeitlicher Naturwissenschaft, die sich mit ihren „Veränderungen am Material der direkten Wahrnehmung“ zwar nicht vom „beobachteten Material als solchem“ entfernt, wohl aber von dessen „qualitativen Merkmalen“, wie sie „natürlicherweise“ beobachtet werden“ (ebd., S. 93). DEWEY verdeutlicht dies anhand von GALILEIS Experimenten mit fallenden Körpern. Nicht die „immanenten qualitativen Unterschiede [...] von Schwere und Leichtigkeit“, sondern eine allen Körpern zuschreibbare „homogene [...] Eigenschaft“, „die sich an dem Widerstand bemäßt, der überwunden werden muß (sic!), um sie in Bewegung zu versetzen“, gilt ihm als Beschreibung. Dabei wird die *Trägheit*, die NEWTON später mit der *Masse* als zentraler Maßeinheit identifiziert, zur wissenschaftlichen Messkategorie für die Betrachtung von Körpern. Diese gilt unabhängig davon, ob dem Gegenstand auch „qualitative“ Merkmale wie *nass*, *trocken*, *warm* oder *kalt* zugesprochen werden können (ebd., S. 98 f.). Zusammenfassend lässt sich behaupten, dass während die griechische Wissenschaft mit *Gegenständen* – wie Mond, Sonne, Sterne Regen samt ihren qualitativen Eigenschaften – operiert, in der neuzeitlichen Wissenschaft *Daten* im

Vordergrund stehen. Gegenstände, so interpretiert DEWEY, stellen dabei etwas „Abgeschlossenes“ dar, etwas das „vollständig“ ist und lediglich ein „Nachdenken [...] in Gestalt von Definition, Klassifikation, logischer Anordnung, Subsumtion in Syllogismen“ erfordert. *Daten* in Form symbolischer Beschreibungssprachen dagegen stellen ein „„Material zur weiteren Nutzung““ dar (Dewey 1998, S. 102). Wird beispielsweise Wasser nicht als etwas betrachtet, das *nass* und *trinkbar* ist, sondern als H₂O, „kann man es allen möglichen anderen Arten der Kontrolle zuführen und anderen Verwendungen anpassen“ (ebd., S. 103).

Für eine solche modifizierende Befragung des Materials der „direkten Wahrnehmung“ (Dewey 1998, S. 93) kommt der *Technik* zentrale Bedeutung zu. DEWEY, der vor allem das naturwissenschaftliche Experiment als neuzeitliche Erkenntnisstrategie beleuchtet, betont zunächst, dass die damit verbundene „Art experimentellen Spielens mit Dingen“ eine ganz alltägliche Erkenntnisstrategie darstellt, die „den Hauptteil des Wissens des gesunden Menschenverstandes“ ausmacht. Was dabei aber das wissenschaftliche Experimentieren vom alltäglichen Experimentieren unterscheidet, ist die „Verstärkung dieser aktiven Tätigkeiten mit Hilfe von Instrumenten, Geräten und Apparaten, die zu dem Zweck entwickelt worden sind“, und die dabei unterstützen, „Beziehungen aufzuzeigen, die auf andere Weise nicht erkennbar sind“. Dazu gehören auch „Techniken zur [...] systematischen Variation von Bedingungen, um auf diese Weise eine korrespondierende Reihe von Veränderungen in dem untersuchten Ding zu erzeugen“ (ebd., S. 90). Zum experimentellen Herbeiführen von Veränderungen gehört es dabei DEWEY zufolge, mithilfe technischer Apparate wie Fernrohr oder Teleskop „bewußt (sic!) die Bedingungen [zu] ändern, unter denen wir [...] beobachten“. Auch in der Chemie oder Physik werden „Hilfsmittel und Kräfte eingesetzt“, um bewusst Veränderungen in den untersuchten Gegenständen herbeizuführen (ebd., S. 87).

Insgesamt lässt sich behaupten, dass vor dem Hintergrund einer Erkenntnistheorie, in der Erkenntnis nicht länger als kontemplative Selbstbekundung des Vorhandenen gedeutet wird, sondern als ein sich im praktischen Tun vollziehendes Umgestalten von Welt, auch die technischen Mittel eine Aufwertung erfahren (vgl. auch Rohbeck 1993, S. 170 f.). KANTS Revolution der Denkart muss aus dieser Perspektive als Manifestation eines technisch vermittelten wissenschaftlichen Zugriffs auf die Welt interpretiert werden, in der Technik in aristotelischer Tradition als eine Form des Wissens gilt, die vor allem „das Herstellen leitet“ (Böhme 2008, S. 28) und Naturerkenntnis zur *technischen Konstruktion* werden lässt: „Etwas erkennen heißt damit wissen, wie man es herstellen kann. Die Naturwissenschaft wird damit zur Unternehmung der technischen Reproduktion der Natur“ (ebd., S. 29) und Naturwissenschaft zur „apparative[n] Erfahrung“ (Euler 1999, S. 105; Böhme/van den Daele/Krohn 1978, S. 353). Während dabei Apparate und Verfahren nach wissenschaftlichen Prinzipien entwickelt werden, entstehen naturwissenschaftliche Theorien zum Teil „direkt aus der Analyse von Geräten“ (Böhme/van den Daele/Krohn 1978, S. 353) und als „Theorien bestimmter Apparate“, z. B. die Optik als Theorie von Mikroskop und Teleskop, die Pneumatik als Theorie von Pumpe und Baro-

meter, die Thermodynamik als Theorie der Dampfmaschine (ebd., S. 357). Gleichermäßen vollzieht sich Naturerfahrung nicht länger am „sinnlich Gegebene[n]“, sondern aus ihrer „Wirkung am Apparat“ (ebd., S. 353 f.). Dabei werden, so die Analyse von Sönke AHRENS, auch „Fakten geschaffen, die überhaupt nicht mehr unabhängig vom technisch-experimentellen Setting beobachtet werden können“ (Ahrens 2014, S. 199), denn wie auch Robert BOYLE ohne seine Vakuumpumpe kein Vakuum zeigen konnte, so können heute außerhalb eines technisch ausgestatteten Labors auch keine „Gene“ beobachtet werden. *Gene* können dabei „selbst mithilfe des Labors nicht [...] so gesehen werden [...] ,wie sie sind‘, sondern nur über die Spuren ihrer Existenz erschlossen werden“ (ebd., S. 199). Bei der Arbeit im Labor komme es AHRENS zufolge also nicht mehr auf „Korrespondenz“ mit einer transzendentalen Wahrheit an, sondern auf ein „Funktionieren“ des gesamten experimentellen Gefüges (ebd., S. 240). Vollzieht sich wissenschaftliches Erkennen zunehmend über die Wirkung des Erkenntnisgegenstands „am Apparat“ (Böhme/van den Daele/Krohn 1978, S. 353 f.), wird die Genese wissenschaftlichen Wissens dadurch im wahrsten Sinne des Wortes zur *Tatsache*, die nämlich durch ein technisch vermitteltes Tun hervorgebracht und unabhängig von der technischen Apparatur in der Form nicht erkannt werden kann (vgl. Ahrens 2014, S. 199).

Wie hängt jene neuzeitliche „Revolution der Denkart“ nun mit der in dieser Arbeit im Fokus stehenden Frage nach dem digitalen Wandel in den Wissenschaften zusammen? Bereits sprachlich haben sich insbesondere in der Interpretation der Schrift von John DEWEY *Die Suche nach Gewissheit* schon einige Hinweise ergeben, die auch für die Frage nach dem digitalen Wandel von Interesse sind. Dabei erweist sich vor allem der von DEWEY beschriebene Übergang von der ästhetisch-qualitativen zur *quantitativ-metrischen* Naturbetrachtung als zentral für die Vorstellung von Erkenntnis im ‚Gestaltungsmodus‘, denn er ermöglicht, Erkenntnisgegenstände als modifizierbares (Daten-)Material zu fassen. Diese Quantifizierung von Welt beschreibt GRAMELSBERGER auch als Basis einer zunehmenden Präzisionssteigerung in der wissenschaftlichen Erkenntnisarbeit und das Streben der Wissenschaften nach immer höheren Graden an Präzision wiederum als „Motor“ der Entwicklung weiterer Forschungstechniken (Gramelsberger 2012, S. 165–169), so zum Beispiel die Entwicklung zunehmend komplexerer Messapparate. Die dadurch möglich werdende „Vermessung der Welt“ kennzeichnet naturwissenschaftliche Erkenntnisarbeit spätestens seit Mitte des 19. Jahrhunderts und ist auch Folge einer zunehmenden „Standardisierung der Messresultate durch internationale Kooperationen“ sowie der Etablierung internationaler Konventionen hinsichtlich der Verwendung von Maßeinheiten. Hinzu kam, dass Messungen zunehmend auf mathematischen Ableitungen und damit auf „indirekte[n] Messungen“ basierten (Gramelsberger 2010, S. 55–57; weiterführend vgl. Abschnitt 5.1.2).

Im Zuge dieser Standardisierung und Mathematisierung jener instrumentebasierten Naturwissenschaften erwies sich u. a. die algebraische Analysis Leonhard EULERS als prägend, die ein Rechnen in Zahlenreihen ermöglichte. Dieses löste das seit der Antike vorherrschende Rechnen in geometrischen Größen ab – mit weitreichenden Folgen für die

Wissenschaft. Die Möglichkeiten der algebraischen Analysis führten einerseits zur „Desavouierung des Kontinuierlichen und Geschlossenen zugunsten des Diskreten und (unendlich) Offenen in Form des Infinitesimalen“ (Gramelsberger 2012, S. 166). Hier eröffnete GRAMELSBERGER zufolge auch die *mathematische* Neukonstitution der aristotelischen Methode von „Auflösung und Zusammensetzung der Phänomene“ im Verlauf des 18. und 19. Jahrhundert eine neue Entwicklungslinie im Streben der Wissenschaften nach Präzision (ebd., S. 167). GRAMELSBERGER zitiert hier Ernst CASSIRER, der darauf verweist, dass Grundlage für jene mathematische Neukonstitution die *Zerlegbarkeit* physikalischer Phänomene und Effekte in metrisierbare Zugstandsgrößen darstellt, die es ermöglichen, diese als *Zahlenfolgen* auszudrücken, die wiederum mittels arithmetischer Regeln verknüpfbar sind (vgl. Cassirer 1910, S. 95; zit. nach Gramelsberger 2012, S. 167). Erst diese Zerlegbarkeit von z. B. Naturphänomenen in diskrete und numerische Einheiten konnte nach GRAMELSBERGER das wissenschaftliche Streben nach immer höheren Graden von Präzision zur Entfaltung bringen, bei dem Präzision nun „von berechneten und gemessenen Zahlenwerten (Daten) als diskrete Entitäten“ abhängt (Gramelsberger 2012, S. 167). Geht diese Quantifizierung und ‚Verdatung‘ von Erkenntnisgegenständen dann schließlich mit der Integration sogenannter „mathematische[r] Medien“ in die technischen Apparate und Forschungsinstrumente einher, wie Gabriele GRAMELSBERGER argumentiert, wird schließlich deren automatisierte Berechnung möglich. Als „mathematische Medien“ bezeichnet GRAMELSBERGER die in elektronischen Schaltkreisen materialisierbaren logischen Schaltungen, über die Mathematik als zentrale „enabling technology“ (ebd., S. 181; H. i. O.) Eingang in Forschungsinstrumente erhält, wie in Abschnitt 5.1.2 noch genauer in den Blick genommen wird. Wie noch zu zeigen ist, verhalf diese ‚Digitalisierung‘ technikvermittelter Erkenntnisprozesse der von DEWEY beschriebenen „Art experimentellen Spielens mit Dingen“ (Dewey 1998, S. 90) zu einer neuen Qualität und erweiterte auch erheblich den von GEHLEN beschriebenen technischen Möglichkeitsraum, der es erlaubt, „Darstellungsmittel, Denkmittel, Verfahrensarten [...] zu variieren, durchzuprobieren, bis zur Erschöpfung der Möglichkeiten ins Spiel zu bringen“ (Gehlen 2007, S. 29 f.; Rohbeck 1993, S. 224).

Der im vorliegenden Abschnitt kurзорisch skizzierte ‚Bildungsprozess‘ der Wissenschaften und dessen ideengeschichtliche Verwurzelung im methodischen, technischen und mathematischen Denken wurde an dieser Stelle bis an die Schwelle dessen geführt, was heute als der *digitale Wandel in den Wissenschaften* bezeichnet werden kann. Dabei zeigt sich, dass der digitale Wandel in den Wissenschaften keine disruptive Revolutionierung der Wissenschaften bedeutet, sondern eine konsequente Weiterentwicklung einer bereits Jahrhunderte andauernden Entwicklung methodischer und technikvermittelter Erkenntnisarbeit. Im Folgenden wird diese Ebene der ideengeschichtlichen Betrachtung verlassen. Die Konturierung des formierenden, bildenden Charakters digitaler Technik steht aber auch in den folgenden Abschnitten weiterhin im Fokus, die Betrachtung wird jedoch wieder auf eine stärker konzeptionelle Ebene verlagert, die anhand unterschiedlicher Fallbeispiele digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit erörtert wird.

5. Generische und generative Forschungstechnik – der digitaltechnische Erkenntnisraum zwischen Struktur und Experimentalraum

In diesem Abschnitt wird die Bedeutung digitaler Technik für die wissenschaftliche Erkenntnisarbeit im Spannungsfeld ihrer *generisch-allgemeinen* und *generativ-performativen* Dimensionen verortet: Digitale Technik verschafft Forschenden einen generischen Rahmen, der auch als *Struktur* bezeichnet werden kann. Strukturierung auf Grundlage von Verallgemeinerung und Standardisierung befördert dabei die Entwicklung übergreifender epistemischer Praktiken und epistemischer Gemeinschaften. Diese Entwicklung äußert sich in einer zunehmenden Konvergenz der Wissensproduktion im Rahmen transversaler Sprach-, Repräsentations- und Operationsräume, die einzelne disziplinäre, methodologische und regionale Wissenschafts- und Forschungskontexte zusammenführen und zunehmend auf einen gemeinsamen – nämlich digitaltechnischen – „Nenner“ bringen. Diese Entwicklung einer allgemeinen Struktur digitaler Forschungstechnik kann dabei nicht ohne die dafür notwendigen Prozesse der Reduktion und Invisibilisierung erfolgen. Das entscheidende der digitaltechnischen Struktur, des digitaltechnischen Allgemeinen besteht allerdings nicht allein in ihrem Potential zur Verallgemeinerung und Strukturierung, sondern insbesondere auch darin, dass just diese allgemeinen digitaltechnischen Strukturen *nach Innen geöffnet* erscheinen, das heißt, in ihrer Struktur selbst bereits zahlreiche erkenntnisweiternde Handlungsspielräume angelegt sind, die ich bereits im Kontext der *offenen Maschine* sowie des Prinzips von *deep remixability* aufgezeigt habe (vgl. Abschnitt 3.1 und 3.2). Im Fokus der folgenden Analyse und in Anknüpfung an die in den Abschnitten zuvor skizzierten Ansätze und Theoriepositionen steht damit die Frage: Inwiefern eröffnen gerade die verallgemeinernden und strukturierenden Dimensionen digitaler Technik ein „*Spiel der Möglichkeiten*“ (Rohbeck 1993, S. 224; H. i. O.) zur Genese neuen Wissens? Wie entstehen in den rahmenden und damit auch begrenzenden Strukturen digitaler Technik Momente der *Freiheit* zur Genese von etwas Neuem? Zu zeigen ist, dass die in der digitalen Technik angelegten „Potenzen [...] für freibleibende Zwecke“ (Freyer 1970, S. 139; vgl. auch Freyer 1963, S. 167) der *Generativität* und *Produktivität* ebendieser Technik Vorschub leistet. Produktivität bedeutet, dass eine „Situations nicht vorbestimmt ist, sondern dass sie erst in *Interaktion* wechselseitig erzeugt und bestimmt wird“ (Allert/Asmussen 2017, S. 34) – hier insbesondere in der Interaktion der Wissenschaftenden mit einer performativen digitalen Technik.

Im Folgenden wird wissenschaftliche Erkenntnisarbeit auf zwei Ebenen betrachtet: Zum einen auf einer Makroebene, die das Allgemeine digitaler Strukturen als Resultat einer durch digitale Technik ermöglichten Generalisierungs- und Vernetzungsbewegung identifiziert (vgl. Abschnitt 5.1). Schließlich wird die dadurch ermöglichte Erkenntnisarbeit *innerhalb* dieser Strukturen auf einer Mikroebene und anhand unterschiedlicher Fallbeispiele und Ausprägungen digitaltechnisch ermöglichter Erkenntnisarbeit betrachtet. Generative, produktive Erkenntnisarbeit ist dabei vor allem von der *Performativität* digitaler Technik geprägt, insofern sie innerhalb der Grenzen der durch die Technik verallgemeinerten Strukturen sowie innerhalb der Grenzen der Berechenbarkeit zahlreiche

Transformationsbewegungen, Anpassungen, Rekontextualisierungen und ‚Remixes‘ ermöglicht, die sich u. a. in Prozessen der Mustererkennung, Visualisierungstechniken sowie in der Computersimulation zeigen (vgl. Abschnitt 5.2). Die Erkenntnisse aus dieser Analyse werden abschließend als Konturen einer Epistemologie digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit (vgl. Abschnitt 5.3) zusammengefasst, die bereits erste Hinweise für die darauffolgende bildungsbezogene Auseinandersetzung liefert.

5.1 Generizität – digitale Technik als Allgemeines und Struktur

Der Computer wurde in den Anfängen der Entwicklung der Computertechnik und bis heute als *general-purpose machine* oder auch *Universalmaschine* bezeichnet, insofern er alle berechenbaren Funktionen und damit zusammenhängende Maschinen emulieren kann. Auch wenn die Mathematik des frühen 20. Jahrhunderts zeigen konnte, dass die Konstruktion einer umfassenden Universalmaschine nicht möglich ist (vgl. Abschnitt 3.3), so ist innerhalb der Grenzen heutiger Computertechnik doch sehr *viel möglich*. Digitalcomputer stellen heute generische Strukturen zur Verfügung, die sich in sehr vielen Kontexten bereichsspezifisch, situativ und gemäß eigenen Erkenntnis- und Handlungsinteressen adaptieren bzw. programmieren lassen. Digitale Forschungstechnik wird dabei zur generischen Forschungstechnik, insofern sie einen übergreifenden, transversalen Sprach-, Repräsentations- und Operationsraum zur Verfügung stellt, der die disziplinäre Durchlässigkeit erhöht und so eine Grundlage für disziplinübergreifendes Forschen bildet. Im Folgenden wird zunächst auf diese *Generizität* digitaler Technik als allgemeiner Erkenntnisraum eingegangen. Diese umfasst nicht nur Hard- und Softwarestrukturen, sondern auch die digitale ‚Zurichtung‘ der Erkenntnisobjekte selbst.

5.1.1 Generische Erkenntnisobjekte

Es lässt sich nicht leugnen, „dass das Sichtbarmachen von Strukturen und Prozessen, die sich nicht von sich aus dem Auge darbieten und damit auch nicht unmittelbar evident sind, den Grundgestus der modernen Wissenschaften überhaupt ausmacht“, schreibt Hans-Jörg RHEINBERGER in einem Aufsatz zur Frage „wie [...] aus Spuren Daten werden“ (Rheinberger 2007, S. 117; vgl. auch Nassehi 2019). Jede Art des Sichtbarmachens von noch Unerkanntem bedarf allerdings des *Eingriffs*, der Manipulation, die sich im hier vorgestellten Beispiel aus dem Beitrag von RHEINBERGER in der Überführung realweltlicher molekularbiologischer „Spuren“ in generische *Informationsstrukturen* äußert. Ziel dieser beispielhaften Skizzierung ist es, auf die Notwendigkeit der Überführung realweltlicher Kontexte in Informationsstrukturen als Voraussetzung für ihre Verarbeitung innerhalb digitaltechnischer Strukturen zu verweisen und zugleich darauf hinzuweisen, dass diese des technischen Eingriffs in Form einer genuinen ‚Digitalisierung‘ bedarf. Das technische Moment dieser Umformung von Erkenntnisobjekten kommt dabei „als sichtbare Spur, die der Eingriff hinterlässt“ (Rheinberger 2007, S. 117), zum Vorschein. RHEINBERGER betont dabei vor allem den „Indexcharakter“ jener Spuren: Diese „Spur wäre sowohl der Schrift als auch dem Bild vorgängig, und sie ist merkwürdig verfasst. Sie ist

die Spur von Etwas, aber dieses Etwas ist immer nur *vertreten*. Und insofern wir es mit Forschung zu tun haben, ist dieses Etwas nicht nur abwesend, sondern auch noch nie da gewesen“ (Rheinberger 2007, S. 117; Herv. OM). RHEINBERGER argumentiert, dass es das experimentelle ‚Handanlegen‘ der Wissenschaftlern an die materiellen und technischen Voraussetzungen einer Versuchsanordnung ist, welches Erkenntnisobjekte – RHEINBERGER nennt sie *epistemische Dinge* – als solche in Erscheinung treten lässt. Durch technisches Handeln werden epistemische Dinge dabei nicht lediglich sichtbar gemacht, sondern überhaupt erst zu Forschungs- bzw. Erkenntnisobjekten (vgl. Rheinberger 2006, S. 29–34). In diesem Zusammenhang hatte RHEINBERGER bereits an anderer Stelle in seiner Studie *Experimentalsysteme und epistemische Dinge* die enge Verzahnung von Erkenntnisobjekten und den technischen Bedingungen ihrer Hervorbringung im Kontext sogenannter Experimentalsysteme aufgezeigt. Er beschreibt diese Verzahnung als ein In-einandergreifen *technischer* und *epistemischer* Dinge (vgl. ebd., S. 27) und entwirft dabei eine „Epistemologie des modernen Experimentierens“ als eine, in der „Wissensobjekte und die technischen Bedingungen ihrer Hervorbringung unauflösbar miteinander verknüpft“ sind, wie es in Buchbeschreibung und Klappentext heißt (ausführlicher vgl. Abschnitt 5.3.1).

Im zuvor bereits erwähnten Beitrag verdeutlicht RHEINBERGER daran anknüpfend den „Übergang von der Spur zum Datum“ (Rheinberger 2007, S. 121), den ich hier als genuinen ‚Digitalisierungsprozess‘ verstehe und der zunächst jenseits einer computertechnischen Verarbeitung erfolgt. RHEINBERGER skizziert diesen anhand des Verfahrens der „radioaktiven Markierung“ (ebd., S. 118) in der Molekularbiologie.⁵⁴ Radioaktive Markierung kann beispielsweise zur Sequenzanalyse von Nukleinsäuren genutzt werden (vgl. ebd., S. 118). Im Rahmen der DNA-Sequenzierung kommt radioaktive Markierung in Verbindung mit chromatografischen Verfahren zum Einsatz, um Spuren experimentell zu erzeugen und dadurch die Sequenz einer Nukleinsäure als Strichmuster sichtbar zu machen (vgl. Abbildung 1).⁵⁵

⁵⁴ Radioaktive Substanzen können Lichtblitze bzw. Szintillationen auf präparierten Schirmen erzeugen und in dieser Form als Indikatoren zur Stoffwechselanalyse von Organismen dienen (vgl. Rheinberger 2007, S. 119; Rheinberger 2006, S. 46–50). Als *Spur* bezeichnet RHEINBERGER dabei den Effekt, den die radioaktive Substanz hinterlässt, die zugleich als Indikator bzw. „Anzeiger“ fungiert: Einerseits zeigt der radioaktive Zerfall eines instabilen Isotopes „den Weg an, den eine Substanz durch den Körper eines Organismus nimmt“. Andererseits genügen schon wenige Beimischungen dieses radioaktiven Isotopes, um diesen Weg nachzuverfolgen zu können. Dessen „Anzeigecharakter“ besteht darin, dass man „die Zerfallsereignisse und damit den durch die radioaktiven Strahlen angerichteten Schaden für das Gewebe minimieren“ kann, und dennoch eine nachvollziehbare Spur des Stoffstromes erkennbar wird (Rheinberger 2007, S. 119).

⁵⁵ Das Verfahren wurde von Frederick SANGER in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre entwickelt und kann als „Geburtsstunde der Genomforschung“ gelten (Rheinberger 2007, S. 119).

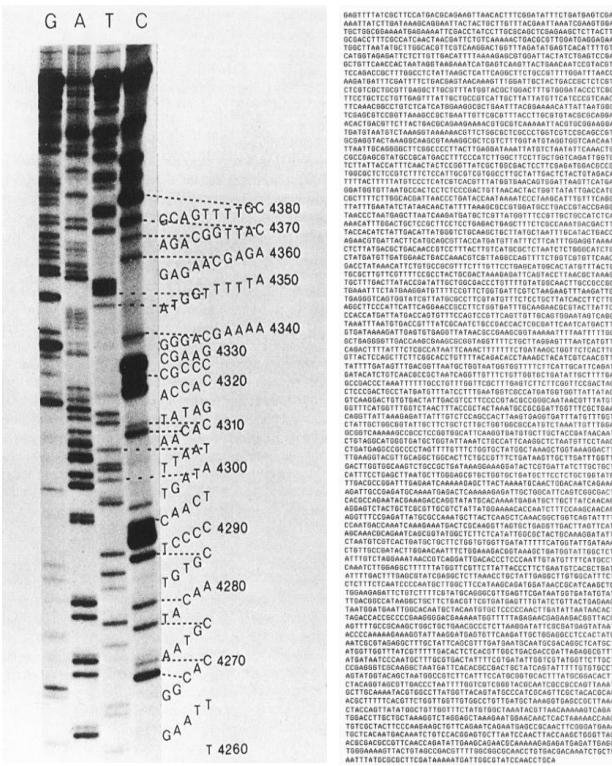


Abbildung 1: links: Autoradiogramm eines Ausschnitts der DNA-Sequenz des Phagen ØX174 (Quelle: Rheinberger 2007, S. 120); rechts: Nukleoide Sequenz eines DNA-Strangs (Quelle: Rheinberger 2007, S. 122);

Bei molekularen Strukturen, die größtenteils unterhalb des menschlichen und auch mikroskopischen Auflösungsbereichs liegen, sorgt das eingesetzte radioaktive Element also sowohl für die *Diskretisierung* als auch *Visualisierung* der Nukleinsäurestrukturen. Das Chromatogramm visualisiert die für das menschliche Auge nicht sichtbaren Moleküle als diskrete, voneinander unterscheidbare Einheiten (vgl. Rheinberger 2007, S. 121). Welcher Zusammenhang besteht nun zwischen der radioaktiven Markierung und der hier postulierten Generizität digitaler Technik? Dies wird vielleicht deutlicher in einem weiteren Schritt der Umformung, den RHEINBERGER skizziert, denn nach der mittels radioaktiver Markierung erfolgten Sichtbarmachung der Nukleinsäurestrukturen werden diese Markierungen zu *Daten*, und damit zu *abstrahierten Informationseinheiten* jener sichtbar gemachten Spuren. Dies erfolgt, indem die über ein Autoradiogramm auf einer Polyacrylamid-Gelplatte sichtbar gemachte DNA-Sequenz (vgl. Abbildung 1) in eine *symbolische Struktur* überführt wird. Bei diesem Schritt wird einerseits vom „Gel und seinen materiellen Qualitäten völlig abstrahiert“, andererseits wird aber auch etwas hinzugefügt: Die Aneinanderreihung von Molekülen in Form von Strichen im Sequenzgel wird in eine

„Sequenz von symbolisch als Buchstaben dargestellten Bausteinen“ überführt, die in der Perspektive der Molekulargenetik die Informationen zur Produktion eines spezifischen Einweißmoleküls enthält (Rheinberger 2007, S. 121). Dieser Schritt markiert für RHEINBERGER zugleich den Einsprungspunkt für die Transformation von der *Spur* zum *Datum* (vgl. ebd., S. 121), denn im Rahmen des vom Autor aufgezeigten Abstraktionsprozesses werden Moleküle in eine speicherbare Form gebracht, indem sie in eine symbolische Repräsentationsform überführt werden. Speicherbarkeit gilt RHEINBERGER als wesentliche Voraussetzung für die Transformation von der Spur zum Datum (vgl. ebd., S. 122).

Eine solche Überführung physikalischer bzw. biologischer Spuren in eine speicherbare Daten- bzw. *Informationsstruktur* eröffnet dabei neue Möglichkeiten des Experimentierens mit diesen Daten. Diese Überführung stellt zunächst keinen computertechnisch realisierten Vorgang dar, sondern gründet auf der Vor-Strukturierung komplexer lebensweltlicher Zusammenhänge gemäß einem abstrahierenden, Komplexitätsreduzierenden Vernunftprinzip, demzufolge realweltliche Phänomene durch technische Eingriffe in voneinander unterscheidbare, modulare Bestandteile (Diskretisierung) umgeformt werden, so dass sie als Daten speicherbar werden. Als Informationsstrukturen können diese schließlich innerhalb des Computers weiter verarbeitet werden. Informationsstrukturen ermöglichen dabei ein weitreichendes modifizierendes, rekombinierendes und produktives ‚Experimentieren‘ mit diesen Daten, bei dem der Computer zum ‚Experimentalraum‘ wird – und das nicht nur in den Naturwissenschaften. Da mittlerweile auch Wortbedeutungen, Wortbeziehungen und semantische Relationen durch sogenannte *word embeddings* in Vektorräumen, und damit in numerisch codierten Informationsstrukturen darstellbar werden, ergeben sich auch für die Arbeit mit Sprache, Texten und weiteren unstrukturierten textanalogen Materialien in den Geistes- und Sozialwissenschaften neue Analysemöglichkeiten (weiterführend vgl. Abschnitt 5.2.3). Dabei ist festzustellen, dass sich solche Informationsstrukturen unerheblich davon, ob darin biologische, physikalische, sprachliche oder weitere Phänomene repräsentiert werden, im ‚Computerlabor‘ als *Texte lesen* und damit auch *umschreiben* lassen. Jutta WEBER argumentiert im Hinblick auf eine *technowissenschaftliche* Ausprägung moderner Naturwissenschaften: „Die organische wie anorganische Natur bzw. jegliches Material wird nun als radikal historisch, wandelbar, und als in kleinste Komponenten und Informationseinheiten zerlegbar charakteriert“ (Weber 2003, S. 140). Die Erschließung von Welt wird dadurch im Wesentlichen zu einem „*Kodierungsproblem*“, wie Donna HARAWAY zeigte (Haraway 1995, S. 51; H. i. O.). Bei diesem geht es zunächst darum, den „richtigen Code [...] für die Übersetzung des Materialen in Information“ (Weber 2003, S. 140) zu finden. Schließlich kann dann jedoch jede „beliebige Komponente [...] mit jeder anderen verschaltet werden, wenn eine passende Norm oder ein passender Kode konstruiert werden kann, um Signale in einer gemeinsamen Sprache auszutauschen“ (Haraway 1995, S. 50). Es ist just diese „Übersetzbarkeit“, die schließlich für eine „Radikalisierung wissenschaftlicher Effektivität und Produktivität“ sorgt und zugleich mithilfe „system-, informations-, und texttheoretischer Begrifflichkeiten und Verfahren“ eine „Vermischung der ontologischen Bereiche möglich“ macht (Weber 2003, S. 140 f.). So wird beispielsweise Natur ‚lesbar‘ wie

ein „Text unter anderen“, als Informationsstruktur kann sie allerdings nicht nur „gelesen“, sondern auch „umgeschrieben“ werden (ebd., S. 141; H. i. O.). Die Reflexionen von HARAWAY und WEBER deuten auf die Generizität jener Strukturen, die im Zuge der Überführung von Welt in *Information* entstehen und in denen sich Erkenntnisobjekte schließlich wie ‚Texte‘ lesen, rekontextualisieren und modifizieren lassen. Dabei wird auch etwas ersichtlich, das ich an anderer Stelle als *Durchlässigkeit* einer Wissenschaft im digitalen Wandel diskutiere. Gemeint ist damit, dass epistemische Grenzen und Erkenntnislogiken, u. a. vermittelt über jene generischen Informationsstrukturen, füreinander durchlässig werden (vgl. Abschnitte 5.1.4, 5.2.3 und 5.2.4).

Die hier beispielhaft skizzierte Überführung von Erkenntnisgegenständen in Informationsstrukturen stellt insgesamt eine wesentliche Voraussetzung des hier untersuchten „digitalen Wandels in den Wissenschaften“ dar, insofern dadurch ein generischer, dass heißt *allgemeiner Sprach- und Repräsentationsraum*, zugleich aber auch ein *allgemeiner Operations- und Handlungsraum* für die wissenschaftliche Erkenntnisarbeit verfügbar wird. Von Bedeutung ist hierfür auch die ‚Digitalisierung‘ der Instrumente, mit denen Phänomene in Informationsstrukturen überführt und schließlich untersucht werden können.

5.1.2 Generische (digitale) Forschungstechnik

Terry SHINN und Bernward JOERGES haben aus wissenschafts- und techniksoziologischem Blickwinkel anhand von Fallstudien zentrale Charakteristika einer neuen Form *generischer* Forschungstechnik herausgearbeitet (vgl. Shinn/Joerges 2002; vgl. Joerges/Shinn 2001a). Diese Charakteristika sollen nach einer kurSORischen Einführung in die Perspektive von SHINN und JOERGES auf ihre Bedeutung für die *digitale* Forschungstechnik hin befragt werden. JOERGES und SHINN skizzieren moderne Forschungstechnik als *generische* Technik und damit als “general-purpose devices”, die disziplinen- und forschungsfeldübergreifend nutzbar sind. Generische Forschungstechnik fungiert dabei als *Template* bzw. adaptierbare Schablone, die mit der Technik einhergehende epistemische Praktiken, Fähigkeiten, Terminologien und Bildwelten konvergiert und transferiert (vgl. Joerges/Shinn 2001a, S. 10). Möglich werden dadurch institutionell übergreifende, *transversale* Formen der Erkenntnisarbeit (vgl. Shinn/Joerges 2002, S. 212 f.; S. 233). Die Genese generischer Forschungstechnik beschreiben die Autoren u. a. anhand der Berufsbiografie des amerikanischen Entwicklers Jesse BEAMS, der in den 1920er Jahren bis in die 1950er Jahre die moderne *Ultrazentrifuge* entwickelt hatte, die zu einem zentralen Instrument der biomedizinischen Bakterien- und Viren-Forschung sowie der medizinischen Diagnostik avancierte (vgl. Joerges/Shinn 2001a, S. 1), aber auch in der Antriebsforschung sowie in der Forschung zur Stärke dünner Filme Bedeutung erlangte (vgl. Shinn/Joerges 2002, S. 211). Deutlich wird in ihrer Analyse: Das BEAMS’sche Konzept der Ultrazentrifuge zeichnete sich insbesondere durch seine Flexibilität und Übertragbarkeit in unterschiedliche, auch divergierende, lokale Forschungskontexte aus. BEAMS’ Ultrazentrifuge

ist für die Autoren daher generisches Forschungsinstrument par excellence (vgl. ebd., S. 212 f.).⁵⁶

JOERGES und SHINN beschreiben generische Forschungsinstrumente als “general, open-ended, and flexible”, sie sind multifunktional, adaptierbar und passen daher in eine Vielzahl epistemischer, ökonomischer und anwendungsbezogener „Nischen“ (Joerges/Shinn 2001a, S. 3; Übers. OM). Sie fungieren darin als eine Art *lingua franca*, die mit ihnen verbundene technische und epistemische Praktiken in lokale Forschungskontexte einführen, zugleich aber an spezifische (forschungsmethodische, ökonomische) Bedarfe angepasst werden können (vgl. ebd., S. 9). Als lingua franca etabliert generische Forschungstechnik einen gemeinsamen *Sprach- und Repräsentationsraum*, der die theoretische und außertheoretische Auseinandersetzungen vorstrukturiert und dabei zur Etablierung und Verbreitung einer “device-centered language” (Shinn/Joerges 2002, S. 217) beiträgt. „Sprache“ ist dabei in einem weiteren Sinn zu verstehen, denn jenseits ihrer Verbalität – etwa in Form spezifischer Maßeinheiten und technischer Normierungen – steht „Sprache“ auch für die durch Forschungstechniken generierten *Bildwelten*, *Gesten* und *Protokolle* und damit für die Möglichkeiten “of ‘seeing’ a physical parameter or event” (vgl. auch Abschnitt 5.2.5). Diese durch generische Forschungstechnik strukturierte spezifische Art und Weise der Welterschließung wird im Zuge der Diffusion und großflächigen Einbettung generischer Designs in lokale Forschungskontexte generalisiert und damit zum epistemischen ‚Allgemeinen‘. Zugleich werden die über das generische Design suggerierten Operationstechniken, Protokolle und Vokabulare Teil von Routinehandlungen ihrer ‚End-Nutzerinnen‘ und ‚End-Nutzer‘ in u. a. Wissenschaft, Militär und staatlichen Einrichtungen (vgl. Shinn/Joerges 2002, S. 217). Im Fall von BEAMS‘ Ultrazentrifuge gehörten dazu beispielsweise die Maßeinheit *Umdrehungen pro Sekunde* oder Gravitationswerte. Expertinnen und Experten aus Physik, Flugtechnik, Ingenieurwesen, Biologie und Medizin erfassten ihr Forschungsfeld so im Lichte des von BEAMS entwickelten technischen Instruments (vgl. ebd., S. 217).

Zugleich aber unterschieden sich generische Forschungsinstrumente, die für eine Vielzahl voneinander unabhängiger Anwendungsbereiche adaptierbar sind, von solchen, die für spezifische, begrenzte Zwecke entwickelt wurden (vgl. Joerges/Shinn 2001a, S. 3). Die von SHINN und JOERGES analysierten Fallbeispiele zeigen dabei, dass zeitgenössische Forschungstechnik vielfach zunächst als Basispakete für noch *unbestimmte Zwecke* – und damit im Sinne ROHBECKS (1993) und FREYERS (1963) als freibleibende *Möglichkeitsräume* entwickelt worden waren. Wesentliche Eigenschaft generischer Forschungstechnik ist ihre “interpretative flexibility” (Joerges/Shinn 2001a, S. 9), die die Voraussetzung für die breitflächige Adaptierbarkeit und grenzüberschreitende Einsetzbarkeit generischer Forschungsinstrumente bildete.

⁵⁶ Als weitere Beispiele generischer Forschungstechnik können zahlreiche technische Entwicklungen der 1940er, 1950er und 1960er Jahre gelten, darunter die *Fourier-Transformations-Spektroskopie* (vgl. Johnston 2001) sowie Instrumente zur *Flüssigkeitsskintillation* (vgl. Rheinberger 2001; Shinn/Joerges 2002, S. 218).

JOERGES und SHINN beschreiben die Genese, Verbreitung und Nutzung generischer Forschungstechniken als iterative Prozesse der *Entbettung* und *Rückbettung* bzw. des „disembedding und re-embedding“ (Joerges/Shinn 2001a, S. 10), und zwar in ganz ähnlicher Weise, wie beispielsweise Anthony GIDDENS (1995) dies u. a. für Expertensysteme beschrieben hat (vgl. Abschnitt 2.2.2). Dabei zeichnet sich ihre Rückbettung in lokale Kontexte einerseits durch die Treue zu einem *Kernbereich der Technik* aus, den SHINN und JOERGES „hub template“ nennen (Joerges/Shinn 2001a, S. 10). Hier übernehmen Nutzende bei der Adaption generischer Designs u. a. implizite Vorstellungen (*beliefs*) zu Potentialen und zur Effektivität des Instruments (vgl. Shinn/Joerges 2002, S. 242 f.) sowie eine allgemeine *Terminologie*, die das ‚Sprechen‘ über das mittels der Technik generierte Wissen verallgemeinert und jenseits bestimmter lokaler und disziplinärer Grenzen erleichtert (vgl. ebd., S. 218, 245 und 248).

Da generische Artefakte, Methoden und Verfahren zwar allgemein anwendbare und offene Merkmale besitzen, Wiedereinbettung in spezifischen Kontexten sich aber jeweils unterschiedlich manifestieren kann, entsteht zugleich ein breitgefächertes Repertoire an lokal gewonnenen Erfahrungen, Verfahren, Protokollen und Vokabularen (vgl. Joerges/Shinn 2001b, S. 246), die im Rahmen *situativer Praktiken* entstehen. Zu diesen gehört den Autoren zufolge u. a. ein „endless tinkering“ mit den Geräten, und damit ein beständiges Erproben, das darauf abzielt, den prinzipiellen Funktionsweisen und Strukturen („deep principles“) der Forschungsinstrumente auf den Grund zu gehen, zu prüfen, ob diese Prinzipien sich in lokalen Kontexten bewähren und um die allgemeine Tauglichkeit der Geräte für die eigenen Forschungskontexte festzustellen. Zu diesen Praktiken gehören aber auch Anpassungen zur Leistungsverbesserung sowie die konkrete Anpassung der Apparate für die lokalen Umgebungen (Shinn/Joerges 2002, S. 217). Aus diesen lokalen Anwendungskontexten und Erfahrungen mit der Technik kristallisieren sich dann wiederum solche Protokolle, Verfahren und Vokabulare heraus, die unabhängig von den lokalen Anwendungsanforderungen auch kontextübergreifend von Relevanz sind. Die dadurch entstehende *Universalität* generischer Forschungstechnik basiert also nicht lediglich auf der einfachen Übernahme formaler Strukturen in einen lokalen Kontext, sondern darauf, dass im Rahmen von Wiedereinbettungsprozessen durch die persönliche Praxis mit den Geräten gewonnene Überzeugungen, *beliefs* und Erfahrungen das Vertrauen in die Validität der Technik fundieren (vgl. Joerges/Shinn 2001b, S. 246). SHINN und JOERGES sprechen daher auch von einer „practice-based universality“, sie schreiben generischer Forschungstechnik also eine praxisbasierte Form der Objektivität zu (Shinn/Joerges 2002, S. 245; vgl. auch Joerges/Shinn 2001b, S. 246).

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass jene iterativen Prozesse der Entbettung und Wiedereinbettung generischer Forschungstechnik die *soziale* und *kognitive Kohäsion* der wissenschaftlichen Gemeinschaft, die jene Forschungsinstrumente nutzt, befördern (vgl. Shinn/Joerges 2002, S. 243 und 247–248) und damit zur Entstehung praxisbasierter Wissenskulturen beitragen können (vgl. auch Knorr Cetina 2002). Der Kontext von Entbettung und Rückbettung ist im Zusammenhang der Genese und Nutzung von Forschungstechnik auch insofern von Interesse, da zeitgenössische wissenschaftsphiloso-

phische Ansätze sowie Ansätze der Science und Technology Studies gerade die *Situiertheit* und damit das Eingebettetsein jeglichen Wissens in lokalen Praktiken (vgl. Knorr Cetina 2002; Latour/Woolgar 1986; Reckwitz 2003) betonen sowie die Bedeutung des persönlichen, impliziten Wissens der Wissenschaffenden (vgl. Polanyi 2002). SHINN und JOERGES verorten generische Forschungstechnik im Spannungsfeld zwischen entbettetem, dekontextualisiertem und generischem Design auf der einen Seite und dessen Aneignung und Rekontextualisierung in lokalen, situativen Kontexten und Praktiken auf der anderen Seite – ein Spannungsfeld, das auch für die in dieser Studie untersuchte Ambivalenz der Technik zwischen technischem Allgemeinen und ihren produktiven Möglichkeitsräumen von Interesse ist. Generische Forschungstechnik ist dabei als ambivalent zu betrachten, weil sie auf der einen Seite Kernbereiche normiert (“hub template”, s. o.), diese auf der anderen Seite aber so flexibel hält (“interpretative flexibility”), dass sie in einem möglichst breiten Umfeld und unterschiedlichen Kontexten adaptierbar sind. Daran anknüpfend gehe ich davon aus, dass diese Form der Generizität und damit sowohl Normierung als auch Flexibilität von Forschungstechnik durch ihre ‚Digitalisierung‘ eine Erweiterung erfährt, denn durch die Integration von Konvertertechniken, Digitalrechnern und Software in die Forschungsinstrumente vergrößert sich die Reichweite ihrer Generizität. Im Folgenden geht es daher um die Konturierung einer *digitalen* generischen Forschungstechnik im oben dargestellten Sinne.

Digitale generische Forschungstechnik

In Rekurs auf JOERGES’ und SHINNs Perspektivierung von Forschungstechnik fragt Gabriele GRAMELSBERGER nach der epistemischen Bedeutung der Integration mathematischer sowie computerbasierter Verfahren und Praktiken im Kontext generischer Forschungstechnik (vgl. Gramelsberger 2012, S. 164). Die Autorin erklärt, dass die epistemische Konstitution heutiger generischer Forschungstechniken im Wesentlichen auf der „Zwischenschaltung von mathematischen Praktiken und Medien“ basiert. Darunter versteht sie die „interne Verschaltung“ der Forschungsinstrumente „durch [...] Schaltkreise, Digitizer, embedded computer und Algorithmen“, die für einen Entwicklungssprung der Forschungsinstrumente sorgten, da damit Möglichkeiten der Metrisierung sowie mathematische Praktiken und Verfahren direkt *in die* Instrumente eingebettet werden konnten. Angewandte Mathematik werde damit, wie bereits erwähnt, zur “*enabling technology*” für die Weiterentwicklung generischer Forschungstechniken, denn dadurch werde der „instrumentale Charakter mathematischer Praktiken nutzbar und in den mathematischen Medien material“ (ebd., S. 181; H. i. O.). Durch mathematische Medien wird schließlich die von der Autorin dargestellte Transformation von (naturwissenschaftlichen) Erkenntnispraktiken der direkten, unmittelbaren Beobachtung hin zu „mittelbaren“ und „indirekten“ Formen der Genese und Analyse von Daten möglich, die zugleich mit einem hohen „Automatisierungspotenzial“ verbunden sind (ebd., S. 180 f.). Dabei trugen vor allem die Entwicklung und Integration von *Analog-Digital-Konvertern* zur elektronischen Er-

fassung von Umweltdaten⁵⁷ sowie die Integration von *Digitalrechnern* (“embedded computer”) und Benutzeroberflächen in technischen Forschungsinstrumenten zu dieser Entwicklung bei (Gramelsberger 2012, S. 176). Diese Befähigung der Forschungsinstrumente zur mittelbaren Datengenerierung und indirekten Datenanalyse durch mathematische Medien sowie deren Automatisierungspotential markiert dabei, so meine Interpretation, die spezifisch *digitaltechnische* Dimension zeitgenössischer Forschungstechnik.

Am Beispiel des *Light Detection And Ranging*-Verfahrens (LIDAR)⁵⁸ zeigt GRAMELSBERGER, inwiefern sich sowohl Generizität als auch interpretative Flexibilität durch die Integration mathematischer Medien und Konvertertechnologien erhöhte (vgl. Gramelsberger 2012, S. 174). LIDAR basiert auf dem aus der Radartechnologie stammenden Prinzip der Laufzeitmessung, bei der nun aber statt Radiowellen Lichtwellen genutzt werden, um Abstände zu Objekten zu messen.⁵⁹ In einem LIDAR-fähigen Apparat werden rückgestreute Photonen eines Laserimpulses optisch mittels eines Teleskops eingefangen und die Hintergrundstrahlung durch einen Spektralfilter herausgefiltert. Im Anschluss werden die Photonen durch einen *Detektor* in ein elektrisches Signal umgewandelt und verstärkt. Dieses wird schließlich durch einen Analog-Digital-Konverter in numerische Daten transformiert, die schließlich in einem Rechner gespeichert werden können (vgl. ebd., S. 174). Ziel der Messungen mittels LIDAR-Verfahrens ist es, aus den gemessenen Signalen auf Umwelt-Phänomene rückschließen zu können, wie z. B. Aerosoleigenschaften von Teilchen oder Partikeln. Die Generizität der LIDAR-Technik zeigt sich beispielsweise in ihrer Anwendungsbreite im Feld der Meteorologie, denn darüber können zahlreiche meteorologische Parameter, wie Druck, Temperatur und Feuchte, bestimmt werden (vgl. ebd., S. 174).

Anhand der LIDAR-Technik weist GRAMELSBERGER auch auf einen weiteren wichtigen Entwicklungssprung im Rahmen der Digitalisierung von Forschungstechnik – die Möglichkeit der Zusammenfassung elektronischer Elemente zu einer gemeinsamen Kontrolleinheit im Forschungsinstrument selbst, über welche Messungen gesammelt, gespeichert und konfiguriert werden können. So werden in LIDAR-Systemen elektronische

⁵⁷ Durch Konvertertechnologien wurde eine mittelbare Erfassung von Umweltdaten möglich. Letztere werden dabei nicht mehr direkt, sondern erst nach ihrer „Digitalisierung“ mittels Analog-Digital-Konverter erfasst. Die Technologie der Signalverarbeitung entwickelte sich in den 1920er Jahren im Zuge der Weiterentwicklung der Telekommunikationstechnologie, bei der nach Möglichkeiten gesucht wurde, kontinuierliche Signale in gepulste zu transformieren. Entscheidend für die Entwicklung von Analog-Digital-Konvertern wurde schließlich die Möglichkeit ihrer Konstruktion mittels Vakuumröhren und logischer Schaltungen. Die Entwicklung von Silizium-Transistoren erlaubte zudem eine zunehmende Miniaturisierung der Konverter (vgl. Gramelsberger 2012, S. 176 f.).

⁵⁸ LIDAR = *Light Detection And Ranging* ist eine Methode zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung sowie zur Fernmessung atmosphärischer Parameter (vgl. Wikipedia 2023, o. S.). LIDAR-Systeme bauen auf der in den 1960er Jahren entwickelten LASER-Technologie auf. Bereits in den frühen Geräten finden sich auf Silizium-Transistoren basierende Digitizer (vgl. Gramelsberger 2012, S. 176).

⁵⁹ Die Technik kam beispielsweise in den 1960er Jahren zur Abstandsmessung von Mond und Erde zum Einsatz. Heute kann sie auf Basis von GPS für Messungen der Atmosphäre verwendet werden oder zur Abtastung topographischer Oberflächenstrukturen (vgl. Gramelsberger 2012, S. 174).

Komponenten wie Detektor, Verstärker und Digitizer zu einer Kontrolleinheit zusammengefasst, die wiederum durch eingebettete Computer (“embedded computer”) für externe Konfigurationsmöglichkeiten zugänglich sind (vgl. Gramelsberger 2012, S. 177 f.).

Im Bereich der mittelbaren Datengenese kann die Integration von Computern in die Forschungsinstrumente auch deshalb als entscheidender Entwicklungsschritt bezeichnet werden, da sich nun über *graphische Benutzeroberflächen* Parameter für Messungen und die Datengenese modifizieren bzw. auf verschiedene Analysekontexte hin adaptieren lassen (vgl. Gramelsberger 2012, S. 177). Darüber können Nutzende Messparameter eines Experiments an der Kontrolleinheit festlegen, woraufhin über die Kontrolleinheit dann automatisiert Daten gesammelt werden können (vgl. ebd., S. 176 f.). Zentrale Errungenschaft war es in diesem Kontext, dass die Parameter für die Messungen „keine an das jeweilige Instrument fest gekoppelten Größen“ (ebd., S. 178) mehr waren, sondern von Nutzenden konfigurierbar und damit kontrollierbar wurden. Es kann also behauptet werden, dass durch die „Verschaltung von Elektronik und Computer im Instrument“ das Einsatzspektrum der Forschungsinstrumente eine starke Ausweitung erfuhr, „da sie nun über Schnittstellen für beliebig viele Experimente modifiziert werden“ konnten (ebd., S. 178). Folge dieser Transformationen ist also die „Experiment-abhängige Modifizierbarkeit von Messinstrumenten“, da die entsprechenden Apparate neben ihrem Kernbereich nun eine „Kaskade“ unterschiedlicher Anwendungsmöglichkeiten in einem Gerät vereinten, die zuvor von jeweils einzelnen Apparaten realisiert wurden (ebd., S. 180). Durch die Integration digitaler Computertechnik wird Forschungstechnik *morfunktional* und ihre Generizität damit um ein Vielfaches erweitert – dies jedoch nur um den Preis der Notwendigkeit einer „*in-situ* Kalibrierung vor jeder Messung“ (ebd., S. 180; H. i. O.). Die Geräte müssen also für unterschiedliche Einsatzszenarien jeweils neu angepasst bzw. kalibriert werden (vgl. ebd., S. 178). Bei generischen Instrumenten wird also ihre Adaption – und in diesem Sinne die im jeweiligen Forschungskontext lokale, situative Anpassung und Aneignung – zur Voraussetzung ihrer Nutzung. Damit kann behauptet werden, dass generische Forschungstechnik das Spektrum möglicher Einsatzszenarien, die mit einem einzelnen Gerät möglich sind, zwar stark ausweitet, zugleich aber die individuelle Konfiguration bzw. Aneignung nicht nur ermöglicht, sondern auch erfordert. Hieraus lässt sich bereits ein erster Hinweis für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen vorwegnehmen, auf den ich an späterer Stelle noch näher eingehen: Generizität in Form interpretativer Flexibilität und Multifunktionalität machen Adaption und Aneignung der Technik an eigene Nutzungsszenarien nicht nur möglich, sondern auch erforderlich (vgl. u. a. Abschnitt 5.3)

Doch nicht nur im Hinblick auf die Genese, sondern auch hinsichtlich der *Analyse von Daten* wird die interpretative Flexibilität generischer Instrumente durch ihre „Digitalisierung“ erweitert: Mithilfe eines zunehmend leistungsstärkeren Zusammenspiels von Software, Maschinenalgorithmen und deren unterliegenden elektronischen Verschaltungen (vgl. Gramelsberger 2012, S. 173) wird es nicht nur möglich, „Unterschiedliches mit einem und demselben Instrument [zu] messen“, sondern gewonnene Daten können abhängig

vom jeweils verwendeten Algorithmus auch unterschiedlich ausgewertet werden (Gramelsberger 2012, S. 180). Dies verdeutlicht GRAMELSBERGER am Beispiel der *Fourier-Spektroskopie*: Bei der Fourier-Analyse handelt es sich um ein mathematisches Verfahren, mit dem aperiodische Signale in ein kontinuierliches Spektrum umgewandelt werden können. Die mathematische Funktion, die dieses Spektrum beschreibt, wird Fourier-Transformierte oder Spektralfunktion genannt (vgl. Wikipedia 2024a, o. S.).⁶⁰

Die Datenanalyse zur Dekodierung von Spektren per Fourier-Transformation ist aufgrund ihres komplexen mathematischen Zusammenhangs sehr rechenintensiv. Bis Ende der 1940er Jahre standen für die Fourier-Spektroskopie nur mechanische Rechenhilfen zur Verfügung, erst 1954 konnte erstmals ein *Digitalrechner* zur rechnerischen Transformation der Messungen in Spektren eingesetzt werden (vgl. Gramelsberger 2012, S. 172). Zu einem Durchbruch verhalf der Fourier-Spektroskopie die Entwicklung des *Fast-Fourier-Transform-Algorithmus* (FFT), eine komplexere Spielart des Rechenverfahrens zur Fourier-Transformation. In Kombination mit der zunehmenden kommerziellen Verfügbarkeit kleiner Computer konnten neue computerbasierte Verfahren die Geschwindigkeit und Effizienz der Fourier-Transformation erhöhen (vgl. Johnston 2001, S. 137). Dies machte beispielsweise die Infrarotspektroskopie auf Basis einer Fast-Fourier-Transformation auch für die Chemie interessant. In den als Fourier-Transform-Infrarotspektrometern (FTIR) bezeichneten Geräten werden Spektren nicht wie in dispersiven Messinstrumenten durch eine schrittweise Änderung der Wellenlänge erfasst, sondern ein gemessenes Interferogramm wird durch eine Fourier-Transformation berechnet (vgl. Wikipedia 2024b, o. S.). In den späten 1960er Jahren versuchten Hersteller von Spektrometern, Chemiker(innen) für die Technologie zu interessieren. Diese Versuche scheiterten größtenteils, weil Fourier-Spektrometer weniger zuverlässig waren und mehr technisches Wissen erforderten als die zu dieser Zeit hochautomatisierten dispersiven Instrumente. Ein wachsender Trend zur Computerisierung der Infrarot-Messinstrumente seit den 1970er Jahren machte den Einsatz der Fourier-Transformation jedoch zunehmend plausibler, insofern die Integration von Computern in die Instrumente nun einige der vormals als Nachteil erachteten Aspekte minimieren konnte, vor allem den Nachteil, dass die Fourier-Transformation eine hohe Rechenleistung erforderte (vgl. Johnston 2001, S. 137 f.). Die durch die Computerberechnung gesteigerte Schnelligkeit der Datenanalyse ermöglichte außerdem die Messung und Verarbeitung komplexerer Samples, die zudem weniger Vorbereitung und Vorarbeiten benötigten, auch konnten elaboriertere Datenanalysen durchgeführt werden (vgl. Johnston 2001, S. 137; Gramelsberger 2012, S. 173). Komplexe Analyseverfahren wie die Fourier-Transformation im Rahmen der Spektralanalyse vergrößerten zugleich das Spektrum der *Interpretationsmöglichkeiten* der dadurch berechneten Daten, führten also zu einer höheren interpretativen Flexibilität des Verfahrens. Kritisiert wurde allerdings, dass die in diesen Verfahren errechneten Daten keine *direkte* Auskunft mehr über die ihnen unterliegenden Phänomene lieferten. Die Vielfalt an

⁶⁰ Die Fourier-Transformation findet in unterschiedlichen Verfahren der Spektralanalyse Anwendung, darunter in der Infrarot-Spektroskopie (vgl. Wikipedia 2024b, o. S.).

Interpretationsmöglichkeiten der Berechnungen erschwerte damit die Rückführbarkeit der errechneten Daten auf spezifische Phänomene sowie den Nachweis, dass etwa die durch mathematische Verfahren transformierten Daten keine bloß zufälligen Artefakte darstellten (vgl. Gramelsberger 2012, S. 173). Zudem stand zur Debatte, dass Messdaten durch die in den Verfahren inhärenten mathematischen ‚Glättungen‘ und Filterprozesse zu stark verändert würden. So wurde im Fall der Fourier-Transformations-Spektroskopie moniert, dass die Darstellung eines Fourier-transformierten Spektrums durch damit einhergehendes mathematisches ‚fine-tuning‘ (Johnston 2001, S. 132) an Aussagekraft verliere (vgl. Gramelsberger 2012, S. 173). Eine solche interpretative Flexibilität, die sich in der Datenauswertung durch die je nach verwendetem Algorithmus unterschiedlichen Interpretationsmöglichkeiten der Daten ergibt, wurde im Falle der Fourier-Spektroskopie als wissenschaftlich unsolide kritisiert, ist aber, so GRAMELSBERGER, „mittlerweile gängige Praxis in der Wissenschaft“ (ebd., S. 180). Dabei sind der Genese von ‚Datenprodukten‘, die sich oft in Visualisierungen äußern, „kaum Grenzen gesetzt“, Voraussetzung ist lediglich, dass ihre Berechnungen „auf definierten Datenstandards basieren“ (ebd., S. 180). Damit wird – wie im weiteren Verlauf der Analyse noch erläutert wird – auch ein tentatives ‚Spielen‘ mit Daten möglich (vgl. Abschnitt 5.2.1).

5.1.3 Generische Opazität

Es kann argumentiert werden, dass Forschungsinstrumente durch ihre ‚Digitalisierung‘ und Computerisierung generischer und vielseitiger einsetzbar wurden. Das Beispiel des FTIR-Spektrometers zeigt allerdings auch, dass die Verbreitung des Spektrometers gerade in der Chemie vor allem erst dann an Fahrt aufnahm, als wichtige Bedienelemente der Instrumente Anfang der 1980er Jahr ‚geblackboxed‘ wurden. Dies bedeutet, dass komplexe Bedienvorgänge so in die Instrumente eingebettet wurden, dass diese auch von technischen Nicht-Expertinnen und -Experten nutzbar wurden (vgl. Johnston 2001, S. 137 f.). In der Beschreibung *digitaler* Forschungstechnik als Allgemeines und Struktur muss daher auch berücksichtigt werden, dass die enorme Ausweitung und interpretative Flexibilität jener Techniken mit einer nahezu antagonistischen Bewegung einherging, die auf der *Invisibilisierung* spezifischer Mechanismen und Teilaspekte beruhte, wie in der Analyse dieses Abschnitts im Fokus steht.

SHINN und JOERGES skizzieren den für generische Forschungstechnik zentralen Vorgang der Entbettung als einen, in dem technische Mittel so konstruiert werden, dass sie zerlegbar und damit offen für ihre Anpassung in anderen Forschungskontexten sind: ‚Dis-embedding refers to devising devices in such a way that they can readily be opened up (made fully transparent) and disassembled – later to be reassembled according to need. This is the very contrary of ‘black boxing’‘ (Shinn/Joerges 2002, S. 213). Die Autoren beschreiben generische Forschungstechnik damit als das genaue Gegenteil einer Black-box, denn um in unterschiedlichen Kontexten adaptierbar zu sein, muss Forschungstechnik stets rekonstruierbar – und damit zu öffnen – sein. Der Wissenschaftshistoriker Klaus HENTSCHEL zeigte jedoch in seiner Auseinandersetzung mit SHINNS und JOERGES‘ Konzeptionierung generischer Forschungstechnik, dass in der sogenannten Phase der

Diffusion⁶¹ das *Blackboxing* bestimmter Vorgänge und Interaktionsoptionen innerhalb der Instrumente zur Bedingung für ihre Diffusion, und damit die Vergrößerung ihres Nutzendenkreises wurde. Diese wurde erst möglich, als die Instrumente auch von Personen genutzt und konfiguriert werden konnten, die keine technischen Expertinnen und Experten waren (vgl. Hentschel 2012, S. 133).

Die Ausweitung des Nutzendenkreises in der Phase der Diffusion ist einerseits darauf zurückzuführen, dass dabei unterschiedliche Forschungstechnologien in den Instrumenten zusammengeführt (Synergieeffekte) sowie Darstellungsweisen ihres Outputs aufgrund neuer bildgebender Verfahren verbessert wurden (vgl. Hentschel 2012, S. 135). Andererseits beruht sie aber auch auf der *Invisibilisierung* komplexerer technischer Vorgänge, und damit auf dem Ausschluss des Menschen von einigen technischen Vorgängen (vgl. Abschnitt 3.4). Diese Entwicklung zeigt HENTSCHEL u. a. am Beispiel des *Magnetic Resonance Imaging* (MRI).⁶² Auch hier wird die Diffusion der Technik erst nach dem Blackboxing von „schwierigen Handgriffen“ zur Bedienung der Instrumente (Hentschel 2012, S. 133) und damit durch ein „de-skilling“ (ebd., S. 135) möglich. Relevant war Blackboxing dabei vor allem für Routinemessungen, die dann aufgrund der einfacheren Bedienung der technischen Instrumente u. a. auch von Labortechnikerinnen und Labortechnikern durchgeführt werden konnten (vgl. ebd., S. 133). HENTSCHEL zufolge entsteht Generizität neben der bereits von SHINN und JOERGES benannten vielseitigen Einsatzbarkeit sowie der „Einpassbarkeit des Outputs in andere Routinen“ vor allem als Folge der Erhöhung der Usability der Instrumente für technische Nicht-Spezialistinnen und -Spezialisten. Dazu gehören ihre allgemeine Robustheit verbunden mit ihrer „Transportabilität“, die relative „Einfachheit der Bedienung“ sowie die Möglichkeit vereinfachter Interpretationen von Messungen bzw. die Genese eines leicht interpretierbaren visuellen Outputs (ebd., S. 135).

⁶¹ Die Entwicklung generischer Forschungstechnik lässt sich HENTSCHEL zufolge in drei Phasen unterscheiden – die der Exploration, Optimierung und Diffusion. In der Explorationsphase erfolgt die nochtentative Entwicklung des Instruments, diese Entwicklungsphase ist geprägt von hoher Komplexität und noch wenigen involvierten Spezialistinnen und Spezialisten. In dieser Phase erweist sich das Instrument noch nicht als generisch. In der zweiten, der Optimierungsphase, werden stufenweise neue Anwendungen für das Instrument erschlossen. Erst in der dritten, der Diffusionsphase, erlangt das Instrument eine umfänglichere Generizität, indem dass zuvor geöffnete Instrument zum Teil wieder eine Schließung erfährt (vgl. Hentschel 2012, S. 135).

⁶² MRI ist im Deutschen eher unter der Bezeichnung *Kernspintomographie* geläufig und ging aus dem *Nuclear-Magnetic-Resonance* (NMR)-Verfahren hervor. NMR und MRI entwickelten sich ursprünglich im Kontext der RADAR-Forschung, der Kernphysik und Elektronik, außerdem im Kontext mathematischer Entwicklungen zur Rekonstruktion von 3D-Bildern aus 2D-Projektionen sowie im Kontext der Rechnertechnik (vgl. Hentschel 2012, S. 130 f.). Erste marktfähige MRI-Geräte kamen in den 1980er Jahren auf den Markt und gehören heute neben CT- und PET-Scannern zu den wichtigsten bildgebenden Verfahren in der Medizin (vgl. Hentschel 2012, S. 131 f.). Eine Leistungssteigerung erfuhr das Verfahren vor allem in Verbindung mit der computerbasierten *Fourier Transformation* der Daten bzw. später mit dem „computerfreundlichen“ Fast-Fourier-Transformation-Algorithmus (Steinhauser 2012, S. 446 f.).

Interessanterweise schränkt HENTSCHEL seinen Befund zum Blackboxing aus den von ihm analysierten Fallstudien zur MRI- und NMR-Forschung wieder ein und argumentiert, dass es hier gerade in der High-End-Forschung zu einer stärkeren Ausdifferenzierung kommt: Blackboxing war vor allem im Standardbereich der Nuclear-Magnetic-Resonance-Technik (NMR) etabliert, entsprechende Standardanalysen konnten seit den 1980er Jahren von Technikerinnen und Technikern durchgeführt werden. Dagegen kam es im High-End-Bereich der NMR-Wissenschaft aufgrund von *Softwareisierung* auch wieder zu größeren Eingriffsmöglichkeiten für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, durch die die technische Blackbox wieder eine Öffnung erfuhr. Über entsprechende Messsoftware wurden in etwa Impulssequenzen und spezielle Spektendarstellungen und -auswertungen *konfigurierbar*, wie bereits im Kontext der LIDAR-Technik diskutiert (vgl. Abschnitt 5.1.2). Wissenschaftende konnten Parameter über die Software also selbst konfigurieren und die Instrumente so an eigene Problemstellungen und Bedarfe anpassen (vgl. Hentschel 2012, S. 133).⁶³

Zusammenfassend können zwei Befunde aus der Reflexion des von SHINN und JOERGES ausgearbeiteten und von HENTSCHEL weiter diskutierten Konzepts der Generizität von Forschungstechnik aufgezeigt werden, die für die hier vorgenommene Analyse epistemischer Dimensionen digitaler Technik von Interesse sind. 1) Für SHINN und JOERGES sind Techniken als generisch zu bezeichnen, wenn sie offen, zugänglich, zerlegbar und in zahlreichen (nicht nur wissenschaftlichen) Kontexten adaptierbar und damit *interpretativ flexibel* sind. Wie HENTSCHEL anhand von Fallbeispielen demonstriert, wird aber Generizität – im Sinne ihrer Verallgemeinerung in unterschiedlichen Kontexten – gerade auch durch Prozesse der Invisibilisierung und damit eher durch den Ausschluss des Menschen von *bestimmten* technischen Vorgängen ermöglicht. Interessant an diesem Befund ist dabei das Spannungsfeld von *Invisibilisierung* und *Visualisierung*. Visualisierung, z. B. von Output, Messdaten usw., und damit eine stärkere Etablierung visueller Oberflächenstrukturen und analoger Repräsentationsformate in den Geräten (vgl. Abschnitt 3.4), sorgte für deren einfachere Bedienbarkeit und letztlich für die Öffnung der Geräte auch für instrumentetechnisch weniger vorgebildete Nutzende. Visualisierung aber ging einher mit der Invisibilisierung komplexerer technischer Vorgänge und der Automatisierung der für die Bedienung dieser Vorgänge nötigen Handgriffe. Darin spiegelt sich die bereits aufgezeigte Ambivalenz des Technischen sowie auch des Digitaltechnischen wider: Zum einen erweist sich generische Forschungstechnik als Spielart der von BLUMENBERG aufgeworfenen Antinomie von Leistung und Einsicht (vgl. Blumenberg 2020, S. 55), insofern Generizität im Sinne allgemeiner Nutzbarkeit u. a. auch durch einen Trend zur medialen Oberfläche, zu visuellen Interaktionsflächen sowie einfachen Bedienformen (*Usability*)

⁶³ Dabei entstanden, so zitiert HENTSCHEL Thomas STEINHAUSER, „regelrechte Tauschbörsen“, in denen Messsoftware ausgetauscht wurde. Möglich wurde es den Nutzenden dadurch, die technische Hardware über die entsprechende Software nach eigenen „Vorstellungen zu manipulieren und ihre [...] Verfahren damit flexibel an ihre Bedürfnisse anzupassen“ (Hentschel 2012, S. 133, Zitat aus einer eMail von Thomas STEINHAUSER an Klaus HENTSCHEL).

erzeugt wird, Nutzende zugleich aber von der Einsichtnahme in wesentliche technische Prozesse *ausgeschlossen* werden (vgl. Abschnitt 2.2.2). Durch *Softwareisierung* findet zugleich aber auch eine *Öffnung* der Instrumente statt, da diese so auch durch die Nutzenden konfigurierbar werden und an eigene Nutzungsbedarfe angepasst werden können (vgl. Abschnitt 3.2). Aber auch die Integration von Software in Forschungstechnik löst die Antinomie von Leistung und Einsicht nicht auf, denn sie erhöht zwar die interpretative Flexibilität und Konfigurierbarkeit der Geräte in Nutzungskontexten und damit deren Reichweite, kann aber den Ausschluss der Nutzenden von einigen zentralen technischen Prozessen nicht verhindern, wie im weiteren Verlauf dieses Abschnitts noch näher erörtert wird.

Jenseits der mit der Entwicklung und Diffusion von Forschungstechnik zusammenhängenden Formen der Invisibilisierung technischer Vorgänge existieren im Rahmen der digitaltechnisch vermittelten wissenschaftlichen Erkenntnisarbeit auch noch weitere Formen der Intransparenz. Im Kontext der Computersimulation, die in Abschnitt 5.2.6 noch einmal gesondert in den Blick genommen wird, hat, wie bereits erwähnt, der Terminus der *epistemischen Opazität* Eingang in die Diskussion um computerbasierte Formen wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit gefunden. Dieser wurde von Paul HUMPHREYS in die Debatte eingeführt (vgl. Humphreys 2004, S. 147–151), bedarf jedoch nach Andreas KAMINSKI gerade im Hinblick auf die Computersimulation einer genaueren Bestimmung (vgl. Kaminski 2018, S. 319). Ob die Computersimulation wissenschaftliche Forschung und damit unsere Vorstellung davon, was Wissenschaft ist, grundlegend verändert, gehört zu den prominenten wissenschaftstheoretischen Debatten im Kontext dessen, was in dieser Studie als der *digitale Wandel in den Wissenschaften* bezeichnet wird. Bis zur Verbreitung der Computersimulation als Verfahren vor allem in den Naturwissenschaften war es selbstverständlich, dass wissenschaftliches Wissen auf zwei Fundamenten beruhte: Erfahrung und Theorie (vgl. Kaminski/Resch/Küster 2018, S. 254). Die Frage, um die die Debatte kreiste, war nun, ob die Computersimulation einen vollkommen neuartigen Zugang zum Wissen darstellt, war sie anfänglich doch auch als neue Ausprägung des Experiments diskutiert worden. Es war Paul HUMPHREYS, der die Computersimulation prominent als Wissenszugang skizzierte, durch die ein „neuartiges Phänomen in die Wissenschaft“ Einzug erhielt, das er als *epistemische Opazität* bezeichnete (ebd., S. 253 f.). Da HUMPHREYS’ Fokus auf Prozessen *wissenschaftlichen* Erkenntnisgewinns lag, interpretieren Andreas KAMINSKI, Michael RESCH und Uwe KÜSTER dessen Begriff der epistemischen Opazität auch als „methodische Opazität“. Diese unterscheidet sich von anderen möglichen Formen der Intransparenz, wie beispielsweise der Opazität der Natur (als tradierter erkenntnistheoretischer Topos) und ebenso auch von probabilistischen Urteilen (ebd., S. 258), denn gerade letztere sind bei korrekter Abbildung nachvollziehbar und rechtfertigbar. Für KAMINSKI, RESCH und KÜSTER deutet epistemische Opazität dagegen auf „das Verhältnis eines Subjekts zu einem Prozess, für das an diesem Prozess bestimmte Elemente [überhaupt] nicht einsichtig sind“ (ebd., S. 257). Kann Opazität durch Wissenszuwachs abgebaut werden, ist sie nur „relativ“, kann sie dagegen gar nicht aufgelöst

werden, ist sie „essentiell“ und damit *konstitutiver Bestandteil* des methodischen bzw. epistemischen Prozesses (ebd., S. 258).

KAMINSKI zufolge bedeutet „epistemisch opak“ im Zusammenhang eines Computersimulationsmodells, dass es aufhört Modell im ‚klassischen Sinne‘ zu sein (Kaminski 2018, S. 319). Klassische Modellierung ziele auf *Anschaulichkeit* und damit auf das *Verstehen* des durch sie dargestellten Wissenskontextes. Das belegt KAMINSKI anhand des mechanistischen Modells des Fahrrads, das aufgrund seiner „Anschaulichkeit“ in der Lage war, „den Prozess der Kraftübertragung“ über das Modell „vorzuführen“ und dabei den Bewegungsfluss von den Pedalen, über die Zahnräder bis hin zur Kette nachvollziehbar zum machen. Klassische Modelle eröffnen also Einsicht in Struktur und Kausalzusammenhänge des nachzuvollziehenden Kontexts, am mechanistischen Modell wird der „lückenlose Kausalprozess“ realweltlicher Prozesse nachvollziehbar (ebd., S. 320 f.). Problematisch im Hinblick auf die Computersimulation ist, dass die mit den klassischen Modellvorstellungen einhergehende Epistemologie bisher das menschliche Subjekt im Mittelpunkt der Genese wissenschaftlichen Wissens sieht, und damit eine *anthropozentrische Perspektive* einnimmt. Dies bedeutet, dass die „Begründung für wissenschaftliche Wissensansprüche [...] im Rahmen dieser Epistemologie immer auf dieses Subjekt“ rückführbar bleiben muss und an dessen „Einsicht“ gebunden ist. Insofern erweist sich KAMINSKI zufolge die klassische Epistemologie mit Blick auf die Computersimulation, aber auch weitere Verfahren wie das maschinellen Lernen, als unzureichend, da hier die prinzipielle Einsichtsfähigkeit des Menschen im Prozess der Genese von Wissen nicht umfänglich vorausgesetzt werden kann (vgl. ebd., S. 322).

HUMPHREYS nennt zwei Gründe für die von ihm postulierte intrinsische Opazität der Computersimulation (vgl. Humphreys 2004, S. 147–151): Zum einen basiert sie auf einer das menschliche Leistungsvermögen übersteigenden Performanz des Computers. Die Nachvollziehbarkeit der „schier immense[n] Zahl an Rechenschritten“ ist sowohl „praktisch“ als auch „prinzipiell unmöglich“. Dabei gehe es in Rekurs auf HUMPHREYS um die „Geschwindigkeit relativ zur Lebenszeit von Wissenschaftlern und relativ zu der Zeit, die sie für einen Rechenschritt benötigen“ (Kaminski 2018, S. 324; vgl. auch Humphreys 2004, S. 148). Computer verarbeiten Daten also in einer Geschwindigkeit, die kognitiv und im Rahmen eines einzelnen Menschenlebens nicht rekapitulierbar ist, der Verarbeitungsprozess bleibt damit genuin opak.

Eine zweite Begründung für epistemische Opazität findet HUMPHREYS in dem, was Stephen WOLFRAM als “computational irreducibility” (Wolfram 2002, S. 737–753; vgl. auch Wolfram 2023, S. 65–68) bezeichnet hat (vgl. Humphreys 2004, S. 148–151). Gemeint sind damit Berechnungsprozesse, die sich nicht auf eine mathematische „Abkürzung“ reduzieren lassen. Wären Berechnungsprozesse computativ *reduzibel*, so ließe sich für sie ein mathematisches Modell formulieren, durch das sich „zukünftige Zustände des Zielsystems prädizieren lassen, ohne dass jeder Zwischenzustand berechnet werden müsste“ (Kaminski 2018, S. 325). Das wäre beispielsweise bei der Berechnung der Sonnenumlaufbahn eines Planeten der Fall, für den sich jederzeit angeben lässt, wo dieser sich zu einem bestimmten Zeitpunkt auf der Umlaufbahn befindet, ohne dabei den gesamten

Umlauf nachverfolgen zu müssen (vgl. Wolfram 2002, S. 373). Für Prozesse, die dagegen „computationally irreducible“ sind, müssten stets alle Zwischenschritte mitberücksichtigt werden und ein „Sprung zu einem künftigen Zustand ist nicht möglich“ (Kaminski 2018, S. 326). Über das genaue Verhalten der Entwicklung eines computativ irreduziblen Systems oder Prozesses lassen sich keine Vorhersagen treffen, ohne dessen Evolution Schritt für Schritt nachzuverfolgen bzw. diese Schritte zu simulieren (vgl. Wolfram 2002, S. 737). KAMINSKI zufolge bietet WOLFRAMS These der „computational irreducibility“ eine Begründung dafür, warum sich viele Phänomene rechentechnisch nur *simulativ* erschließen lassen, und zwar indem alle Zwischenschritte berechnet werden. In dieser Hinsicht werde auch deutlich, warum gerade die Computersimulation den „Eindruck eines Experiments“ erwecke, denn auch im Experiment kann der Ausgang nicht vorhergesagt bzw. abgekürzt werden (Kaminski 2018, S. 326). Die notwendigen Berechnungen im Kontext des ‚Computerexperiments‘ können höchstens durch Parallelisierung von Rechenprozessen oder leistungsfähigere Hardwarearchitekturen beschleunigt werden (vgl. ebd., S. 326, Fußnote 14). Warum aber müssen solche Simulationen als epistemisch opak gelten?

HUMPHREYS bezieht sich im Kontext seiner Überlegungen zur epistemischen Opazität nicht nur auf die Arbeiten WOLFRAMS, sondern auch auf David MARRS (1977) Konzept einer Typ1- und Typ-2-Theorie, die für ihn auch WOLFRAMS Unterscheidung von „computativ reduziblen und irreduziblen Prozessen“ veranschaulichen (Kaminski 2018, S. 326): MARR geht es in seiner Beschreibung von Typ-1- und Typ-2-Theorien um Probleme der Informationsverarbeitung, die auf einem zweifachen Problemlöseprozess gründen: Im ersten Prozess geht es darum, Berechnungsmodelle zu finden, mit denen sich Gegenstände der physischen Welt ausdrücken lassen. Es geht also um die Entwicklung mathematischer Berechnungstheorien, die eine Theorie zur Modellierung der physischen Welt liefern. Im zweiten Prozess geht es darum, Algorithmen zu entwickeln, über die sich die Berechnungstheorie tatsächlich *ausführen* lässt, und die es ermöglichen, jene Berechnungen mit entsprechender Hardwaretechnik zu koppeln (vgl. Marr 1977, S. 37). Als Typ-1-Theorie bezeichnet MARR schließlich solche Problemlöseprozesse, bei der Berechnungstheorie und deren Umsetzung in einen (maschinenlesbaren) Algorithmus zwei unterschiedliche und voneinander separierbare Prozesse darstellen können, die nicht voneinander abhängen. Als Beispiel nennt MARR die Fourieranalyse. Wie bereits erwähnt (vgl. Abschnitt 5.1.1), kann die Berechnungstheorie der Fouriertransformation auf unterschiedliche Art und Weise algorithmisch implementiert bzw. ausgeführt werden, das heißt mittels Verfahren, die sich vor allem aufgrund ihrer Effizienz unterscheiden, ohne dass dabei die unterliegende Berechnungstheorie anzupassen wäre. So hatte beispielsweise die Entwicklung des *Fast-Fourier-Transform-Algorithmus* keinen Einfluss auf die Berechnungstheorie der Fourier-Analyse (vgl. Kaminski 2018, S. 327; Marr 1977, S. 37). Mit Typ-2-Theorien sind dagegen Problemlöseprozesse gemeint, bei der sich Berechnungstheorie und ihre algorithmische Implementierung nicht als zwei voneinander separierbare Probleme beschreiben lassen. Dies ist der Fall, wenn Systeme und Prozesse auf vielen Wechselwirkungen und Interaktionen beruhen, also “the simultaneous action of a

considerable number of processes, whose interaction is its own simplest description” (Marr 1977, S. 38). Als Beispiel nennt MARR die Proteinfaltung (vgl. dazu auch Abschnitt 5.2.4), bei der zahlreiche Einflussfaktoren und Interaktionen den Vorgang bestimmen. Zwar sind dabei zu jedem Zeitpunkt nur wenige Faktoren von Bedeutung, diese aber dafür von umso entscheidender. Werden einige dieser Interaktionen davon in vereinfachten Theorien nicht berücksichtigt, scheitert die Theorie. MARR zufolge sind in diesem Fall Brute-Force-Ansätze am erfolgreichsten, in denen alle Möglichkeiten schlicht durchgerechnet werden, bis die Anordnung stabil ist (vgl. Marr 1977, S. 38; vgl. auch Kaminski 2018, S. 327). Das Beispiel der Proteinfaltung zeigt, dass zwischen Gegenstandstheorie und ihrer Implementierung in einen Algorithmus nicht sinnvoll getrennt werden kann. KAMINSKI zufolge gibt es zwar eine Gegenstandstheorie, nämlich „die der Proteine, ihrer Geometrie, der Interaktionen“, jedoch keine Theorie, die diese als algorithmisch lösbares „Berechnungsproblem formuliert“. Die im Prozess entstehenden Wechselwirkungen der unterschiedlichen Teilprozesse erreichen in diesem Zusammenhang „eine Größenordnung [...], die ihr Verständnis und insbesondere eine Prognose erschwert oder gar aussichtslos werden lässt“ (Kaminski 2018, S. 328). Da nicht bekannt ist, „was angesichts bestimmter Umstände (Start- und Randbedingungen, Kalibrierung und Parametrisierung) passiert, muss das Modellverhalten errechnet werden. Damit verstehen wir es jedoch nicht, jedenfalls nicht analytisch“ (ebd., S. 329). Berechnungsprobleme im Zusammenhang von Typ-2-Theorien lassen sich nur *experimentell*, im Sinne eines *tentativen* Simulierens bzw. Berechnens der schrittweisen Abläufe und Zusammenhänge lösen (vgl. Abschnitt 5.2.6).

Festzuhalten ist, dass im Falle von Prozessen, die computativ irreduzibel sind oder den Typ-2-Theorien angehören – was häufig selbst für einfache, biologische, physikalische oder soziale Phänomene der Fall ist – keine mathematischen ‚Abkürzungen‘ existieren, die es erlauben, Prognosen über künftiges Verhalten abzuleiten. Im Kontext der Computersimulation bleibt dabei vielmehr nur das experimentelle, tentative ‚Einstellen‘ des technischen Systems und das anschließende Durchrechnen der Zwischenschritte, und damit eine schrittweise Annäherung an das Problem. Opak bleibt dieser Vorgang, weil das Gesamtverhalten der Simulation aufgrund der vielfältigen experimentell darin implementierten Wechselwirkungen analytisch, das heißt durch Zerlegung in seine Einzelemente, nicht nachvollziehbar ist. Computativ irreduzible Prozesse könnten daher auch als *emergent* bezeichnet werden, da damit zusammenhängende Berechnungsprozesse nicht als Summe ihrer Einzelteile beschreibbar sind und sich auch nicht durch Rekonstruktion (reverse engineering) analysieren lassen (vgl. Zwirn 2013). KAMINSKI, RESCH und KÜSTER sprechen daher davon, dass sich für die Computersimulation nur „externalistische“ Strategien der Begründung und Rechtfertigung eignen, die auf „Verlässlichkeit“ und „*Erfahrungswerte[n]*“ aus der programmiertechnischen Entwicklung der dafür notwendigen Algorithmen basieren (Kaminski/Resch/Küster 2018, S. 271; H. i. O.), nicht aber auf einer genuinen „*Einsicht*“ in die Wechselwirkungen aller Elemente (vgl. ebd., S. 266; H. i. O.) bzw. einem Verständnis der Struktur damit zusammenhängender komplexer mathematischer Gleichungssysteme (vgl. ebd., S. 268). Auch aus Sicht des zuvor skizzierten

Medienbegriffs (vgl. Abschnitt 2.3.2) spricht dieses Vorgehen für die Annahme, dass sich die Medialität des Simulationsgefüges nicht direkt, sondern nur *indirekt* ermitteln lässt, nämlich anhand externalistischer, in Erprobungsverfahren gewonnener Erfahrungswerte.

Nicht zuletzt entsteht Opazität in Forschungsprozessen innerhalb digitaltechnischer Systeme aber auch dadurch, dass Forschende für ein Agierenkönnen innerhalb dieser Systeme stets auch vom Wissen anderer abhängen. In einem Simulationsprozess beispielsweise, sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der jeweiligen Fachdiziplin, für deren Erkenntnisfortschritt die Simulation durchgeführt werden soll, von der Expertise aus Mathematik, Numerik und Informatik abhängig (vgl. Gehring/Hubig/Kaminski 2017, S. 12). In der Klimamodellierung, so zeigt GRAMELSBERGER in ihrer Studie *Computerexperimente* (2010), zeichnet sich die Modellierung umfänglicher Klimamodelle und Erdsysteme auch durch das Koppeln modularer Programmkomponenten aus, die sich nach dem Plug-and-play-Prinzip zusammenfügen lassen (vgl. ebd., S. 153 und 192). Dabei wird für das eigene Experimentalgefüge auf fertige Programmkomponenten zurückgegriffen, die bestimmte Modellbestandteile als „funktionale Blackboxes [...] kapsel[n]“ (ebd., S. 153). Fügen dabei Forschende solche gekapselten Komponenten in eigene Kontexte ein bzw. greifen auf bereits programmierte Routinen und Programmkomponenten zurück (vgl. Abschnitt 5.2.6), so verlagern sich Rechtfertigungsmöglichkeiten des darüber produzierten Wissens teilweise auch auf den *Herstellungskontext* der übernommenen technischen Objekte bzw. Programmelemente (vgl. Gehring/Hubig/Kaminski 2017, S. 13), und das bedeutet: Im wissenschaftlichen Anwendungskontext, also dort, wo sie zur Erforschung von Erkenntnisgegenständen konkret zum Einsatz kommen, gelingt die Rechtfertigung des dabei entstandenen Wissens nicht vollständig bzw. stets in Abhängigkeit der bereits erfolgten Rechtfertigungsleistung anderer, was zu einer *Fragmetierung der Rechtfertigungsmöglichkeiten* von Forschungsresultaten führt. Hier zeigt sich das Forschen innerhalb digitaltechnischer Strukturen als ein Hantieren mit Expertensystemen, deren Leistungsfähigkeit um den Preis der Delegation von Teilkomponenten des Erkenntnisprozesses an andere Expertinnen und Experten erreicht wird, dadurch aber für die einzelnen Forschenden nicht vollständig einsichtig ist. Dieses Problem ist aber bei Weitem nicht allein (digital-)technisch begründet, sondern deutet auf die generelle *soziale Verfasstheit* jeglicher Wissensproduktionen in zeitgenössischen Wissenschaftssystemen (vgl. ebd., S. 12; Kaminski/Resch/Küster 2018, S. 261), die wiederum sozial bedingte Formen der Opazität erzeugt. Insbesondere in der ingenieurwissenschaftlichen, medizinischen und naturwissenschaftlichen Forschung unterliegen wissenschaftliche Prozesse in der Regel einer weitreichenden Arbeitsteilung. Sie findet meist „in Teams mit verteilten Kompetenzen statt“ und beruht Allgemein „auf Voraussetzungen, die andere erarbeitet haben“. Dadurch eröffnen sich für die Wissenschaften zahlreiche „opake Felder“. Hier können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zwar ihre jeweils eigenen Beiträge zur Erforschung des gemeinsamen Erkenntnisinteresses reflektieren, diese stellen aber jeweils nur „einen Teil eines Ganzen dar“ (ebd., S. 261; vgl. auch Hardwig 1985).

KAMINSKI, RESCH und KÜSTER fassen den Terminus der epistemischen Opazität daher weiter und auch jenseits der mathematisch-simulationstechnischen Bestimmung bei HUMPHREYS. Epistemische Opazität im wissenschaftlichen Gesamtkontext impliziert sowohl soziale als auch technische und mathematische Dimensionen (vgl. Kaminski/Resch/Küster 2018, S. 264), während *mathematische Opazität*, wie sie oben im Kontext von WOLFRAMS und MARRS Thesen beschrieben wurden, ausschließlich auf Computersimulation bzw. einige Formen des maschinellen Lernens zutreffen (vgl. ebd., S. 263). Sowohl soziale als auch technische und mathematische Opazität tragen dazu bei, dass der oder die einzelne Wissenschaffende „nicht in der Lage [ist] und [...] es auch nicht sein [muss], die ganze Kette, an welcher er [bzw. sie] ein Argument entwickelt zu überblicken“ (ebd., S. 262). Soziale, technische und mathematische Dimensionen von Opazität sind dabei aber auch miteinander verbunden und können nicht kategorisch unterschieden werden: So resultiere gerade die soziale Arbeitsteilung in der Wissensproduktion häufig in „Technik, welche zwischen Forschungsprojekten, Communities und technischen Ensembles kursiert“ (ebd., S. 264). In dieser ist aber das in technischen Expertensystemen, Objekten und Infrastrukturen objektivierte Wissen den einzelnen Wissenschaffenden nicht immer direkt zugänglich (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Dass aber eine solche Arbeitsteilung in der wissenschaftlichen Wissensproduktion überhaupt möglich ist, kann wiederum auch auf die Generizität digitaler Technik zurückgeführt werden, insofern darin erhebliche Potentiale für das kollaborative Forschen und eine damit zusammenhängende *epistemische Vernetzung* enthalten sind. Im folgenden Abschnitt werden die Vernetzungspotentiale digitaler Technik als ein weiteres Kennzeichen ihrer generischen Struktur skizziert. Die Etablierung transversaler und zugleich interpretativ offener digitaltechnikbasierter Sprach-, Repräsentations- und Operationsräume führt im Kontext wissenschaftlicher Wissensproduktion zu übergreifenden Vernetzungsmöglichkeiten innerhalb und ‚quer‘ zu etablierten wissenschaftlichen Gemeinschaften und damit auch zu zunehmend hybrideren Communities. Im Folgenden wird beispielhaft aufgezeigt, inwiefern digitaltechnische Strukturen einer epistemischen Vernetzung Vorschub leisten und damit auch etablierte epistemische Grenzziehungen aufweichen können.

5.1.4 Generische Vernetzung

Argumentiert werden soll in diesem Abschnitt, dass digitaltechnische Vernetzung auch zur *sozialen Vernetzung* (vgl. Knaus 2017b, S. 34 f.) und daran anknüpfend zur *epistemischen Vernetzung* führt. Zu Beginn der Argumentation steht die Annahme, dass die vernetzenden Potentiale digitaler Technik die soziale Verfasstheit der Wissensproduktion und die damit zusammenhängende Auffassung vom wissenschaftlichen Handeln als einem genuin *gemeinschaftlichen* Handeln weiter zementiert. Dieser Vernetzungsprozess geht nicht nur mit technischen Anforderungen einher und verlangt in etwa Standardisierungen und das Einrichten entsprechender Infrastrukturen. Er führt auch zur Herausbildung konvergierender epistemischer Praktiken sowie durchlässigerer disziplinärer und epistemischer Grenzen. David BARRY prognostizierte im Zusammenhang eines *computational*

turn in den Wissenschaften sogar die *postdisziplinäre Universität*, die von einer generellen „Hybridität der Disziplinen“ (Berry 2011, S. 13; Übers. OM) geprägt sein werde. Auch wenn eine vollständige Auflösung der Disziplinen weder ersichtlich noch erstrebenswert ist, so wird doch deutlich, dass digitaltechnische Tools und Infrastrukturen tradierte epistemische Grenzen erheblich flexibilisieren können.

In ihrem Band *Knowledge Machines* beschreiben Eric T. MEYER und Ralph SCHROEDER (2015) Transformationsprozesse in Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften auf Grundlage der Zunahme digitaler Werkzeuge, digitaler Daten und des Internets. Möglich werden diese u. a. durch den Einzug vernetzter und vernetzbarer Softwareprodukte, Tools und Plattformen. Charakteristisch für eine solche technische Vernetzung ist dabei beispielsweise das Verfügbarmachen von übergreifenden Ordnungs- und Beschreibungssystemen über Tags, Metadaten und Ontologien, über die relevante Daten und Ressourcen beschrieben und klassifiziert werden können und die ein strukturiertes Suchen, Abrufen und Rekombinieren von Daten erlauben. Zur technischen Vernetzung von Wissensbeständen gehören aber beispielsweise auch technische Marker, wie digitale Identifier, über die Daten, Ressourcen und Publikationen im Netz eindeutig gekennzeichnet und auffindbar werden. Ein wichtiger Teil digitaltechnischer Vernetzung im Wissenschaftskontext ist schließlich die kollaborative Nutzung von Rechen- und Speicherkapazitäten über verteilte Infrastrukturen (vgl. Meyer/Schroeder 2015, S. 30), da einzelne Institutionen die gerade für das High-Performance-Computing benötigten Kapazitäten häufig nicht aufbringen können (s. u.). Dabei wird nicht nur hardwaretechnisch, sondern auch auf der Ebene der Software, Anwendungen und Ordnungssysteme ein generischer übergreifender Sprach-, Repräsentations- und Operationsraum geschaffen, in dem sich institutionen- und disziplinenübergreifende epistemische Praktiken entwickeln können (vgl. Meyer/Schroeder 2015, S. 29). Vernetzung, Verdatung und die Verwendung generischer digitaler Tools erzeugen dabei MEYER und SCHROEDER zufolge vernetzte „Wissensmaschinen“ (ebd., S. 3). Interessant am Terminus der *Wissensmaschine* ist, dass MEYER und SCHROEDER ähnlich wie SIMONDON *Maschine* nicht als den Menschen ausschließenden ‚Automation‘ deuten (vgl. Abschnitt 3.1), sondern als Ermöglichung der *kollaborativen Genese* von Wissen (vgl. Meyer/Schroeder 2015, S. 3).⁶⁴

Grundlage dieser gesteigerten Konnektivität der Wissenschaffenden⁶⁵ bilden Vernetzungs- und Schnittstellentechnologien, insbesondere die, welche im Zusammenhang der Entwicklung des *Internets* entstanden. Im Zentrum der von Eric T. MEYER und Ralph SCHROEDER vorgenommenen Deutung digitaler Technik als *Wissensmaschine* steht das

⁶⁴ Dies bezeichnen die Autoren auch als „e-Research“ – ein Terminus, der auch Anklänge an den gebräuchlicheren Terminus der *e-Science* hat. Unter e-Science werden in der Regel digitaltechnikbasierte, auf weitläufig vernetzten Infrastrukturen basierende *kooperative* Forschungsinitiativen subsumiert (vgl. u. a. Koschtial 2021, S. 2).

⁶⁵ Die gesteigerte Konnektivität trug auch insofern zu einer *Öffnung* des Wissenschaftssystems bei, als dass auch Amateur-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler heute daran partizipieren können, wie zahlreiche *Citizen Science*-Initiativen zeigen (vgl. Dickel/Franzen 2015).

Internet als “new medium to enact research methods” im Vordergrund, insofern es zur Herausbildung eines “globally connected network of machines and people” führte (Meyer/Schroeder 2015, S. 5). Den Terminus *Internet* legen die Autoren sehr breit aus und meinen damit nicht nur das heute meist darunter verstandene World Wide Web als “network of networks”, sondern auch alle auf Grundlage der spezifischen Technologie des Internets vernetzbaren und dort auch vernetzten Tools sowie Repräsentations- und Handlungsräume, das heißt “all the devices, sensors, applications, databases, networked tools, data, and content residing on these technologies, for without them the network itself is uninteresting and not powerful at all” (ebd., S. 5). In diesem Sinne trug das Internet zur umfassenden, da weltweiten, epistemischen Vernetzung und zu einer erheblichen Ausweitung digitaltechnikbasierter Sprach-, Repräsentations- und Operationsräume bei, wie im Folgenden anhand einiger ausgewählter Initiativen, Netzwerk- sowie Schnittstellen-techniken beispielhaft aufgezeigt werden soll: dem *World Wide Web*, *Grid-Computing*, *Application Programming Interfaces* (APIs) und *Ontologien*.

World Wide Web

Im Jahr 1990 brachte der u. a. für die Idee des *semantic web* (vgl. Berners-Lee 2009b) bekannte britische Physiker und Informatiker Tim BERNERS-LEE die erste Webseite der Welt unter der Adresse info.cern.ch am europäischen Kernforschungszentrum CERN (Conseil européen pour la recherche nucléaire) in Genf ins Internet. Während das ursprüngliche Internet (zur Frühgeschichte des Internet vgl. u. a. Castells 2021, S. 1–25)⁶⁶ in seinen Anfängen zunächst nur für wenige Expertinnen und Experten, und das nur umständlich und mittels komplizierter Kommandoingaben, nutzbar war (vgl. zdf.de 2023, o. S.), wollte BERNERS-LEE mit seinem auf *Hypertext* basierenden Konzept den weltweiten Austausch der Forschenden am CERN vereinfachen (vgl. Berners-Lee et al. 1994, S. 76). BERNERS-LEE und weitere entwickelten dafür u. a. die *Hypertext Markup Language* (HTML) als Auszeichnungssprache und das *Hypertext Transfer Protokoll* (HTTP) als Netzwerkprotokoll. HTML war als technische *lingua franca*, und damit als einfach handhabbare “language of interchange” (ebd., S. 78) konzipiert worden, in der die Dokumente, die über das Web verfügbar gemacht werden sollten, formatiert wurden. Mithilfe des Netzwerkprotokolls HTTP ließen sich diese übertragen und mithilfe von URI (heute: URL) eindeutig im Netzwerk identifizieren (vgl. ebd., S. 76–80).⁶⁷

Dabei ist bezeichnend, dass das WWW ursprünglich konzipiert und entwickelt worden war, um dem gestiegenen Kommunikationsbedarf zwischen *Wissenschaftlerinnen* und *Wissenschaftlern* nachzukommen. Das CERN ist bis heute Mittelpunkt einer der umfangreichsten wissenschaftlichen Communities, zu der mehr als 17.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus über 100 Ländern gehören, so heißt es auf der Webseite der

⁶⁶ Als dessen Ursprung das 1969 ans Netz gebrachte ARPANET gelten kann (vgl. Castells 2021, S. 1–4).

⁶⁷ Am 30. April 1993 gab das Direktorium des CERN das auf diesem Konzept basierende World Wide Web (WWW) schließlich für die Öffentlichkeit frei (CERN o. J.c, o. S.). Die erste Webseite des WWW ist unter der Adresse info.cern.ch/hypertext/WWW/TheProject.html abrufbar (CERN o. J.a, o. S.).

Organisation (vgl. CERN o. J.a, o. S.). Obwohl die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Regel auch einige Zeit im CERN-Hauptquartier in Genf verbringen, arbeiten sie sonst an Universitäten und in nationalen Laboren in ihren Heimatländern und bedürfen daher grenzüberschreitender Kommunikationswerkzeuge sowie Plattformen für den Datenaustausch. So bestand die Grundidee des WWW darin, die seinerzeit sich entwickelnden Technologien im Bereich der Computertechnik, Datennetze und des Hypertexts zu einer leistungsfähigen und zugleich einfach nutzbaren Informations- und Kommunikationsplattform zu konvergieren (vgl. ebd., o. S.), auf die auch jenseits des lokalen Kontexts am CERN zugegriffen werden konnte. In einem Interview anlässlich des 20. Jahrestags der Erfindung des WWW erklärt Tim BERNERS-LEE, dass es kein Zufall gewesen sei, dass das Web ausgerechnet am CERN seinen Ursprung fand. Er führte dies vor allem auf die Heterogenität der am Forschungszentrum arbeitenden Forschenden zurück, die hohe technische Standards gewohnt waren, die Umsetzung bzw. Ausgestaltung leistungsfähiger Forschungsinfrastrukturen in ihren jeweiligen Heimatinstitutionen jedoch sehr unterschiedlich war. Das Konzept des WWW sollte dazu beitragen, Forschungs- und Kommunikationsinfrastrukturen auf hohem technischen Niveau zu vereinheitlichen (vgl. Berners-Lee 2009a, Minute 00:3:33). In seinen Ursprüngen kann das WWW damit als genuin *transversale* und *generische Forschungsinfrastruktur* gelten, insofern es u. a. durch die ihr unterliegende Auszeichnungssprache und das einheitliche Netzwerkprotokoll einen standardisierten übergreifenden Sprach- und Repräsentationsraum für die Wissenschaftlern und Wissenschaftler zur Verfügung stellte, der für die soziale und epistemische Kohäsion der weltweit im Kontext des CERN arbeitenden Teilchenphysikerinnen und -physiker einen entscheidenden Fortschritt bedeutete. Dass das WWW heute eigentlich kaum noch in seinem *wissenschaftlichen* Ursprungskontext wahrgenommen wird, zeugt zugleich von seiner hohen *interpretativen Flexibilität*.

Grid-Computing und High Performance Computing

Doch nicht nur mit der Erfindung des WWW trug das CERN zur weltweiten Etablierung eines generischen Sprach-, Repräsentations-, und Operationsraums bei. Auch mit der Einführung einer weltweit vernetzten Infrastruktur zum Austausch von Forschungsdaten, dem *Worldwide LHC Computing Grid* (WLCG), etablierte das Forschungszentrum digitaltechnisch basierte Möglichkeiten des Austauschs und der Vernetzung von Forschenden. Das WLCG ist eine weltweit verteilte Recheninfrastruktur, die in Ebenen (Tiers) angeordnet ist.⁶⁸ Sie ermöglicht einer Gemeinschaft von über 12.200 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 110 Nationalitäten, die an Instituten in mehr als 70 Ländern arbeiten, nahezu Echtzeit-Zugriffe auf die Daten, die in den Large-Hadron-Collider-

⁶⁸ Im Hauptquartier des WLCG in Genf werden zunächst Rohdaten auf Band gesichert (Tier-0) und nach einer ersten Verarbeitung an die weltweiten Hauptrechenzentren (Tier-1) mit ausreichend Speicherkapazität verteilt. Diese stellen dann die Daten weiteren Einrichtungen (Tier-2) zur Verfügung. Über lokale Rechenzentren an ihren Instituten (Tier-3) oder Computer an ihrem Arbeitsplatz (Tier-4) erhalten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dann Zugang zum WLCG und können damit Daten aus den LHC-Projekten mit der Rechenleistung des WLCG analysieren (vgl. Weltmaschine o. J.).

Projekten produziert werden, heißt es auf der Webseite des WLCG (vgl. CERN o. J.b, o. S.). Die LHC-Projekte des CERN, wie ATLAS, ALICE und weitere, produzieren jährlich über 15 Petabytes an Daten und involvieren zugleich Tausende Forschende, die weltweit tätig sind. Die an diesen Großforschungsprojekten beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sollen dabei unabhängig von ihrem jeweiligen Standort und unabhängig von der Rechenleistung der am Standort verfügbaren Rechner und Netzwerke auf die Daten aus den Experimenten zugreifen können und so von den Rechenressourcen, Datenspeicherkapazitäten, aber beispielsweise auch Visualisierungstools des CERN profitieren können.⁶⁹ Hierfür wurden weltweit Rechenzentren errichtet, die zusammen mit dem CERN in Genf ein Computernetz mit unterschiedlichen Ebenen zur Verarbeitung und Speicherung von Daten bilden, in Deutschland beispielsweise das *Grid Computing Centre Karlsruhe* (GridKa) als mitteleuropäischer Hauptknotenpunkt des WLCG (vgl. ebd., o. S.; KIT o. J., o. S.; Weltmaschine o. J., o. S.).

Application Programming Interfaces als Schnittstellentechnik

Jenseits der Infrastrukturen erfolgt die Vernetzung der Wissensproduktion innerhalb digitaltechnischer Strukturen auch auf Softwareebene – gerade auch in den Geisteswissenschaften. Zu solchen softwaretechnischen Vernetzungsmechanismen gehören beispielsweise *Application Programming Interfaces* (API). Bei APIs handelt es sich um Programmierschnittstellen, die bestimmen, „wie zwei verschiedene Programme miteinander agieren können“ (Jünger 2022, S. 161).

Bereits im Jahr 2005 plädierte der in den Digital Humanities aktive Historiker Dan COHEN für ein stärkeres Engagement in der Entwicklung von APIs für die *geisteswissenschaftliche* Forschung, um den Forschenden direkte Zugänge zu Datenbanken und digitalen Werkzeugen zu ermöglichen, denn im Gegensatz zu den Naturwissenschaften und kommerziellen Anbietern nutzten seinerzeit nur wenige Projekte in den (digitalen) Geisteswissenschaften die Potentiale von APIs (vgl. Cohen 2005, o. S.). Datenzugriffe über APIs sind in der Regel leistungsfähiger als einfache webbasierte Zugänge. Sie verfügen meist über komplexere und präzisere Verfahren zur Auswahl und Extraktion von Daten, zur Genese von Statistiken sowie zur Suche und Zusammenführung von Daten. Zudem ermöglichen APIs es Nutzerinnen und Nutzern von Softwaretools, angeschlossene eigene Werkzeuge zu entwickeln und damit den transversalen Sprach-, Repräsentations- und Operationsraum zu erweitern (vgl. ebd., o. S.). Durch ihr Potential zur softwaretechnischen Kopplung unterschiedlicher technischer Systeme ermöglichen APIs die Weiterentwicklung und Ausweitung digitaler Infrastrukturen und deren Performanz in den jeweiligen lokalen Nutzungskontexten. Denn eine der wichtigsten Herausforderungen für die Digital Humanities besteht darin, vorhandene Werkzeuge, Plattformen und Verfahren zu konsolidieren und in bereits vorhandene Infrastrukturen zu integrieren. TASOVAC ET AL.

⁶⁹ Die durch das Grid-Konzept ermöglichte Ausschöpfung weltweit vernetzter Rechenleistung führte u. a. zur Entdeckung des Higgs-Bosons, die 2013 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet wurde (vgl. KIT o. J., o. S.).

haben entsprechende Bestrebungen der Digital Humanities auch als „infrastrukturellen Wandel“ bezeichnet (Tasovac et al. 2016, S. 94; Übers. OM). Sichtbar wird dieser u. a. in Initiativen zur Veröffentlichung von Kulturerbedaten auf unterschiedlichen Plattformen, auf die Forschende auch über entsprechende Programmierschnittstellen zugreifen können. Dabei konzentrieren sich sowohl große internationale Initiativen wie die *Europeana*⁷⁰ (europeana.eu/de) als auch einzelne Projekte wie *Open Siddur* (opensiddur.org) vielfach auf die Entwicklung von APIs (vgl. Tasovac et al. 2016, S. 94).

APIs als Schnittstellentechnik, und damit als Möglichkeit der Ausweitung digitaltechnik-basierter Sprach-, Repräsentations- und Operationsräume, unterliegen jedoch gerade im wissenschaftlichen Kontext oft Grenzen, und zwar dort, wo der wissenschaftliche Erkenntnisraum auf kommerzielle und damit häufig *geschlossene* Datenräume angewiesen ist. In den Sozialwissenschaften sind beispielsweise APIs von Interesse, die den Austausch von bzw. den Zugriff auf Daten externer Bezugsquellen wie etwa von Social-Media-Plattformen ermöglichen. Notwendig werden APIs in der sozialwissenschaftlichen Forschung vor allem zur Datenerhebung, wenn beispielsweise das Kommunikationsverhalten von Nutzenden bestimmter Social-Media-Plattformen analysiert werden und entsprechende Daten möglichst strukturiert und standardisiert erfasst werden sollen (vgl. Jünger 2022, S. 167). Über offene, das heißt von den kommerziellen Anbietern zur Verfügung gestellte Programmierschnittstellen können Nutzerdaten und Inhalte aus Sozialen Medien abgerufen und per Analysesoftware ausgewertet werden. Dabei variiert jedoch die Offenheit des Zugangs von Plattform zu Plattform. Twitter (heute X) bot lange Zeit eine der offensten Programmierschnittstellen, während Facebook und Instagram lange nur einen eingeschränkten Zugang zu Nutzungsdaten zur Verfügung stellten, so dass in der sozialwissenschaftlichen Verwertung von Social-Media-Daten die Plattform *Twitter* (heute X) lange Zeit eine Vorrangstellung einnahm (vgl. Thimm/Nehls 2019, S. 983; vgl. auch X Help Center o. J.).⁷¹

Bestimmte Daten sind Forschenden auf kommerziellen Web-Plattformen allerdings niemals zugänglich. In diesem Kontext unterliegen APIs KAERLEIN zufolge spezifischen „Interface-Politiken“ der Anbieter, die die Gestaltungs- und Zugriffsmöglichkeiten der Nutzenden auf bestimmte, einem unternehmenspolitischen Kalkül unterliegende, Art und Weise einschränken oder befördern (vgl. Kaerlein 2020, S. 50–52). So können APIs auch im Kontext wissenschaftlicher Forschung auf Web-Plattformen kommerzieller Anbieter stets als „Mittel der Einflussicherung“ verstanden werden, durch die Anbieter Zugänge kontrollieren können. Hier sind JÜNGER zufolge auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nur „wenig privilegierte [...] Akteure“ (Jünger 2022, S. 177). Der Cambridge

⁷⁰ Die *Europeana* ist „Europas digitale Kulturplattform“, die Zugang zu über 58 Millionen digitalisierten Kulturerbe-Objekten aus über 3.600 Einrichtungen und Organisationen gewährt (vgl. Europäische Kommission o. J., o. S.).

⁷¹ Bis vor einiger Zeit ermöglichte beispielsweise die Analysesoftware MAXQDA einen direkten Import von Daten der Plattform Twitter, mit dem in etwa Worthäufigkeiten in Tweets, Followerzahlen, Wochentage und Uhrzeiten aus Tweets abgerufen werden konnten. Das dafür notwendige API steht inzwischen nicht länger zur Verfügung (vgl. MAXQDA 2020, o. S.).

Analytica-Skandal beispielsweise ist in etwa von BRUNS (2019) auch als „APocalypse“ bezeichnet worden, insofern als Folge des Skandals Datenschnittstellen (APIs) vor allem zu Facebook gekappt wurden. Andererseits wurden wiederum auch „kuratierte Datenzugänge“ für die wissenschaftliche Nutzung eingerichtet (JÜNGER 2022, S. 177), darunter beispielsweise über die Initiative *Social Science One*, die sich der Anbahnung von Partnerschaften wissenschaftlicher Institutionen mit kommerziellen Unternehmen wie Facebook oder Microsoft widmet (vgl. Harvard University o. J., o. S.). Diese innerhalb solcher Partnerschaften zur Verfügung gestellten Datenzugänge werden u. a. über Ausschreibungen mit thematischen Vorgaben geregelt. Ausschreibungen sind in den Wissenschaften zwar üblich, argumentiert JÜNGER, werden dadurch aber zu Steuerungsmechanismen kommerzieller Unternehmen, die für die Wissenschaffenden als „Datenintermediatoren“ fungieren (JÜNGER 2022, S. 178).⁷² Wie in Abschnitt 3.4 argumentiert, ist in diesem Zusammenhang zu konstatieren, dass *Interfaces* – hier in Form von Schnittstellentechniken – nicht nur der Öffnung und Vernetzung dienen, sondern im Sinne einer ambivalenten Technik sowohl die Öffnung als auch Schließung von Zugängen regeln. Im Fall der Nutzung von APIs zu Forschungszwecken erfährt der hier programmiertechnisch erweiterbare Möglichkeitsraum eine unternehmenspolitisch – jedoch vermutlich auch datenschutzrechtlich – motivierte Schließung. Dass der digitaltechnische Möglichkeitsraum durch kommerzielle bzw. unternehmenspolitische Interessen eine Einschränkung erfährt, wird im Kontext der Wissenschaften im Übrigen auch in der *Open-Access-Initiative* ersichtlich, die in dieser Studie nicht in den Blick genommen wird. Hier ist zu konstatieren, dass mit Blick auf die technischen Möglichkeiten des elektronischen Publizierens nur wenig Grenzen für die öffentliche Zugänglichmachung wissenschaftlicher Daten und Publikationen bestehen, diese aber u. a. aufgrund kommerzieller Interessen nach wie vor eingeschränkt sind, und ein offener Zugang zu wissenschaftlichen Publikationen nach wie vor keinen Standard darstellt (vgl. Drößler 2022). Das Beispiel der APIs und von Open Access zeigt insgesamt, dass die rahmenden und strukturierenden Eigenschaften (digitaler) Technik als Allgemeines nicht allein durch technische ‚Sachzwänge‘ entstehen, sondern häufig auch auf kommerziellen, politischen, gesellschaftlichen und kulturellen Interessen basieren.

Semantische Datenvernetzung durch Ontologien

Im Kontext wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit innerhalb digitaltechnischer Strukturen kommt das vernetzende Potential digitaler Technik nicht zuletzt auch durch die Beschreibungs- und Ordnungssysteme zum Tragen, in denen Datenbestände als Erkenntnisobjekte für Wissenschaffende in einer für die Wissenschaffenden sinnvollen Art und Weise vernetzt und damit zur weiteren Nutzung vorsortiert werden, so beispielsweise mithilfe von

⁷² In jüngster Zeit wird Wissenschaffenden zu Forschungszwecken auch auf der Plattform TikTok der Zugriff auf Programmierschnittstellen auf Antrag ermöglicht (vgl. TikTok for Developers o. J.a), die Zugänge auf (anonymisierte) statistische Nutzendaten wie die Anzahl von Likes, Followern, User-Profilen bzw. Video-Kommentierungen, Captions und Untertitel ermöglicht (vgl. TikTok for Developers o. J.b).

Ontologien, die, wie bereits skizziert, auch zu einer zunehmenden Relationalität und Konkretisierung digitaler Objekte beitragen (vgl. Abschnitt 3.2). Denn in einer datenbasierten Wissenschaft, wie auch RHEINBERGER (2007) sie in *Von der Spur zum Datum* beschrieben hat (vgl. Abschnitt 5.1.1), sind Daten zunehmend nur noch als *vernetzte*, in *Ontologien*, und damit in *konkrete* sowie standardisierte Gliederungs- und Begriffsschemata eingebundene, nutzbar (vgl. Abschnitt 3.2). Das heißt, dass sie nur dann „Sinn ergeben“, „wenn man strukturiert darauf zugreifen kann“ (Rheinberger 2007, S. 123). Ontologien als Beschreibungssysteme stellen demnach aber keine genuin digitale Apparatur dar, sondern dienen als Ordnungsstruktur zur semantischen Modellierung von Daten, die Forschenden strukturierte Zugänge zu Forschungsdaten ermöglicht. Referenzontologien, wie das in diesem Abschnitt vorgestellte CIDOC CRM, sind dabei grundlegend für die Herstellung semantischer Interoperabilität und damit der Verallgemeinerung eines Begriffssystems für einen bestimmten Phänomenbereich, die beispielsweise für das *Information Retrieval* von Interesse sind (vgl. Goerz/Scholz 2013, S. 14).⁷³ Ontologien tragen dabei insofern zur Universalisierung der Wissensproduktion bei, als dass sie durch die formale Beschreibung von Relationen und Begriffsbeziehungen in Datenbeständen (vgl. Rehbein 2017, S. 162) daraus ermittelbare Erkenntnisse auf eine spezifische Art und Weise vorstrukturieren. Erhalten durch Ontologien generierte Strukturvorschläge und Beschreibungen Eingang in die Plattformen von Bereitstellungsinitiativen wie der *European Open Science Cloud* (eosc-portal.eu), der *Nationalen Forschungsdateninfrastruktur* (nfdi.de) oder der *Europeana*, können diese zur Vereinheitlichung von Begriffsverständnissen und damit der Wissensproduktion insgesamt beitragen – dadurch möglicherweise aber auch in den Begriffsschemata enthaltene *Biases* reproduzieren (s. u.).

Bezugsobjekte geisteswissenschaftlichen Erkenntnisinteresses liegen im Rahmen digitaltechnischer Strukturen als Digitalisate bzw. in Form digitaler Daten vor, die beispielsweise durch großangelegte Initiativen wie der *Europeana* im Rahmen relationaler Datenbanken zur Verfügung gestellt werden. Die darin enthaltenen Daten werden durch Metadaten genauer bestimmt und sind strukturiert durchsuchbar. Diese relationale Strukturierung digitaler Objekte entsteht dabei auch durch die Verknüpfung der Datenbanken mit übergreifenden Begriffsbezugssystemen (Ontologien). Breite Anwendung erfährt hier im Kontext der Aufbereitung von Kulturerbedaten u. a. das Conceptual Reference Model *CIDOC*. Im Folgenden sollen einige Grundstrukturen des Referenzmodells CIDOC CRM aufgezeigt werden, das vor allem in den Geistes- und Kulturwissenschaften, aber auch im Rahmen des Museums- und Archivwesens Anwendung findet. Der Standard des Internationalen Museumsrates ICOM wird seit 1996 entwickelt und stellt eine „fachübergre-

⁷³ In großen Daten-Vernetzungsprojekten wie der *Nationalen Forschungsdateninfrastruktur* (nfdi.de) in Deutschland oder der *European Open Science Cloud* (eosc-portal.eu) werden Daten dabei auf der Grundlage von Konzepten des Semantic Web (vgl. Berners-Lee 2009b) und des FAIR-Prinzips zugänglich gemacht (vgl. Donig 2023, S. 432). FAIR steht für *Findable, Accessible, Interoperable* und *Reusable*. Dabei handelt es sich um Prinzipien der Datenaufbereitung, die die weiterführende Nutzung der Daten durch Menschen und technische Systeme ermöglichen sollen (vgl. Donig 2023, S. 432, Fußnote 36; vgl. auch Wilkinson et al. 2016).

fende Ontologie für die Museen im kultur- und naturhistorischen Bereich“ zur Verfügung (Lampe/Krause/Doerr 2010, S. 7; Rehbein 2017, S. 174). Das Referenzmodell CIDOC CRM, so heißt es auf der Webseite, zielt darauf ab, Forschenden „ein gemeinsames und erweiterbares semantisches Framework für evidenzbasierte Integration von Kulturerbeinformationen“ bereitzustellen, um so ein übergreifendes Verständnis von Kulturerbeinformationen sowie eine „gemeinsame Sprache für Fachleute“ und damit eine übergreifende Sprach- und Begriffspraxis zu befördern (ICOM o. J., o. S.; Übers. ChatGPT). Ziel dabei ist die Vermittlung zwischen unterschiedlichen Anbietern bzw. Quellen solcher Kulturerbedaten wie Museen, Bibliotheken oder Archive. CIDOC wird seit Dezember 2006 als ISO-Standard anerkannt, der 2014 erneuert wurde (vgl. ebd. o. J., o. S.). Geschaffen werden soll dadurch ein im Kontext von Kulturerbedaten *geteiltes „System zur Wissensrepräsentation“* (Rehbein 2017, S. 174) und eine gemeinsame Begriffspraxis. Das Referenzmodell basiert auf dem CRMbase-Standard, der ein generisches Klassen- und Begriffssystem für die „Welt des Kulturerbes“ bereitstellt und damit als *Basisontologie* (ICOM o. J., o. S.; Übers. ChatGPT) fungiert. Das Referenzmodell bildet eine Ontologie mit etwa 90 Klassen (vgl. Lampe/Krause/Doerr 2010, S. 42 f.), auf den oberen Ebenen beispielsweise Klassen wie „Entität“, „Geschehendes“, „Ereignis“ oder „Objektbewegung“, sowie 148 Beschreibungen ihrer relationalen Beziehungen, darunter u. a. „wird bezeichnet als“, „fand statt im Beisein von“ oder „wurde geschaffen durch“ (ebd., S. 117–120). Dabei definiert das CRM keine „Terminologien“, sondern „charakteristische Beziehungen“ für die Verwendung derselben. Es erklärt also „die Logik“ der spezifischen Beziehungsstrukturen der erfassten Kulturerbedaten und sorgt dabei für „semantische Interoperabilität“ (ebd., S. 9).

Das Referenzmodell wurde u. a. durch modulare Erweiterungen ergänzt, die noch einmal auf spezifische Erkenntnis- bzw. Nutzungsinteressen zugeschnitten sind, wie beispielsweise die bibliografische Dokumentation (vgl. ICOM o. J.).⁷⁴ Das Referenzmodell ist aufgrund seiner Adaptierbarkeit als interpretativ flexibel zu bezeichnen. Es ist zugleich generisch, insofern es der Verfügbarmachung einer „wissenschaftlichen *lingua franca*“ (Lampe/Krause/Doerr 2010, S. 8; H. i. O.) und damit der „transdisziplinären Vernetzung fachübergreifender Forschungsdatenbanken“ (ebd., S. 8) dient. *Transdisziplinär* ist das Referenzmodell deshalb, da es jenseits interdisziplinärer Initiativen, denen es lediglich um den Austausch wissenschaftlicher Resultate geht, auch eine „gemeinsame methodische Nutzung inhaltlicher Konzepte verschiedener Disziplinen“ ermöglicht (ebd., S. 8). Ein solcher „generalisierter Forschungsansatz“ wird u. a. deshalb notwendig da „gesellschaftlich komplexe Fragestellungen“ sich nicht länger „monodisziplinär“ beantworten lassen (ebd., S. 8). Dabei ermöglicht eine „disziplinunabhängige Vernetzung von Informationen“, wie dies im CIDOC CRM versucht wird, beispielsweise auch die „semantische Kopplung kulturhistorischer Daten mit naturhistorischen- oder technohistorischen“ Daten (Lampe/Krause/Doerr 2010, S. 8).

⁷⁴ Erweiterungen sind so konzipiert, dass die darin enthaltenen Datenbeschreibungen mit denen der Basisontologie kompatibel sind (vgl. ICOM o. J.).

Das Referenzmodell stellt dabei einerseits eine formale Beschreibung von Beziehungsstrukturen zur Verfügung, die von *allgemeinem Interesse* (“general interest”) für die Abfrage und Exploration solcher Daten sind (ICOM o. J., o. S.).⁷⁵ Was als ein solches ‚allgemeines Interesse‘ gelten soll, wird durch die formale Beschreibungen allerdings vorstrukturiert: Ontologien erfordern in der Regel das eindeutige Zuordnen von Begriffen und das Festlegen ihrer Relationen zueinander. In dieser eindeutigen Festlegung können sich allerdings auch Vorurteile bzw. *Biases* verbergen (vgl. Keet 2021; Friedman/Nissenbaum 1996). Diese entstehen durch die Reduktion von „Welt auf ausgewählte Eigenschaften“ oder in Taxonomien bereits enthaltene Vorurteilsstrukturen, vor allem aber, da Ontologien stets von den *Weltbildern* ihrer Modelliererinnen und Modellierer beeinflusst sind (Rehbein 2017, S. 174).

Andererseits stellt das Referenzmodell auch eine allgemeine Struktur zur semantischen Modellierung digitaler Daten zur Verfügung, über die in Verbindung mit Forschungsdatenbanken und Online-Forschungsumgebungen transversale, disziplinübergreifende und zugleich *strukturierte* Zugriffe auf – hier: Kulturerbeinformationen – verfügbar werden. Ontologien tragen damit zu einer semantischen Vernetzbarkeit und damit Konkretisierung (vgl. Abschnitt 3.2) digitaler Objekte in Form von Forschungsdaten bei, damit aber auch zur Genese übergreifender Sprach- und Repräsentationsräume in den Wissenschaften und zur Konsolidierung damit einhergehender *Begriffsgemeinschaften*. Im Folgenden steht die Frage im Fokus, inwiefern die zuvor präsentierten Beispiele digitaltechnischer Vernetzung zur Entstehung durchlässiger epistemischer Gemeinschaften beitragen.

Hybride Wissenschaften?

Netzwerke stellen für Felix STALDER den zentralen „Handlungsräum“ einer *Kultur der Digitalität* dar (Stalder 2017, S. 79), ein damit zusammenhängendes „Netzwerkdenken“ (Schenk 2022, S. 69) kann dabei als eine der zentralen Epistemologien dieses Kulturräums gelten, die sich u. a. in der Formation „epistemische[r] Gemeinschaften“ äußert (Stalder 2017, S. 135). Epistemische Gemeinschaften zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich „um gewisse Sichtweisen auf die Welt und das eigene Handeln darin“ gruppieren (ebd., S. 135 f.). Sie konstituieren sich daher meist als *Communities of Practice* (vgl. Wenger 2008) mit dem Ziel der Formation und des Erhalts eines *Praxisfelds*, das nach STALDER „abstraktes Wissen, konkrete Fertigkeiten, notwendige materielle und soziale Ressourcen, Handlungsanweisungen und Erwartungen sowie die Interpretation der eigenen Praxis“ umfasst (Stalder 2017, S. 136). Zusammengehalten wird dieses Praxisfeld durch das „gemeinschaftliche Erstellen, bewahren und Verändern des interpretativen Rahmens, in dem Handlungen, Prozesse und Objekte eine feste Bedeutung und Verbindlichkeit erlangen“ (ebd., S. 136 f.). Dieser interpretative Rahmen basiert in einer Wissen-

⁷⁵ Im Kontext einer Initiative der Universität Erlangen-Nürnberg wurde die Referenzontologie in eine maschinenlesbare Version auf der Grundlage der Web Ontology Language OWL erstellt (vgl. Erlangen CRM/OWL o. J.). Diese kommt beispielsweise in der virtuellen Forschungsumgebung WissKI – ebenfalls ein Projekt u. a. der Universität Erlangen-Nürnberg – zum Einsatz (vgl. WissKI o. J.).

schaft im digitalen Wandel auch auf den generischen digitaltechnischen Strukturen, die nicht nur zur Vereinheitlichung von Begriffsbezugssystemen führen, wie im Beispiel der Referenzontologien, sondern auch zur Genese übergreifender epistemischer Praktiken.

Gabriele GRAMELSBERGER zeigte beispielsweise für die naturwissenschaftliche Forschung, dass die Entwicklung der Naturwissenschaften zu *Computational Sciences* „epistemische wie praktische Folgen“ für die Arbeitsweisen der Forschenden mit sich brachte: Deren vorrangige Arbeitsinstrumente waren zuvor „Mess- oder Experimentierapparate“, bestehen nun aber in der Regel in „Algorithmen und Daten“. Ließ sich vor der Neuerfindung naturwissenschaftlichen Forschens als Computational Sciences noch „an den Tätigkeiten der Forscher [...] ablesen, welcher Disziplin sie angehörten“, ist dies heute nicht mehr ohne Weiteres zu erkennen: „Ob ein Biologe, ein Klimaforscher oder ein Physiker vor dem Computer sitzen und ihrer Arbeit nachgeht (sic!), lässt sich von außen betrachtet nicht entscheiden. Alle tun dasselbe, sie schreiben Codes“, was in vielen Teilen der heutigen ‚digitalen Wissenschaften‘ auf eine „enorme Vereinheitlichung der Forschungspraxis“ deutet (Gramelsberger 2010, S. 143).

Diese Vereinheitlichung betrifft nicht nur die Forschungspraxis innerhalb der Naturwissenschaften, sondern mitunter auch die (digitalen) Geisteswissenschaften. Dazu passt beispielsweise die Feststellung, dass in jüngerer Zeit das Diskussionsfeld um *Experimente* auch in den Digital Humanities an Popularität gewonnen hat. So setzte sich die im ‚Coronajahr‘ 2021 online stattfindende Jahrestagung der deutschsprachigen Digital Humanities *Experimente* zum Schwerpunkt. Im Call for Participation hieß es dazu: „Experimente sind in den Digital Humanities allein schon sprachlich allgegenwärtig. Forschungszentren bezeichnen sich selbst als Labore, es werden experimentelle Methoden entwickelt, man nähert sich Datensätzen experimentell etc.“ (vDHD2021 o. J.). Mit der Konjunktur der Experimente-Metapher geht auch die im Digital-Humanities-Diskurs längst geläufige *Labormetaphern* einher, denn das ‚Computerlabor‘ ermöglicht experimentelle Zugriffe auch auf die in generischen Informationsstrukturen vorliegenden textbasierten oder textanalogen ‚Materialien‘ und Forschungsgegenstände der Geisteswissenschaften, wie in Abschnitt 5.2.3 noch beispielhaft diskutiert wird. Im Vorwort der Publikation *Fabrikation von Erkenntnis. Experimente in den Digital Humanities* heißt es diesbezüglich: „In DH-Labs werden dementsprechend geistes- und kulturwissenschaftliche Daten in Experimentalsettings aufbereitet, transformiert, kodiert und mithilfe von speziellen Instrumenten und Verfahren – also digitalen Tools und Methoden – analysiert. [...] Dabei fungieren DH-Labs auch als dynamische Werkstätten des Wissens. Grundlegende Praktiken der Geisteswissenschaften entfalten im Ideen- und Schreiblabor ihre kreative Kraft: Die Dokumentation wie die Kommunikation von Forschungsprozessen und -ergebnissen können dank neuer Publikationsformate an sich schon zum Experiment und zur interdisziplinären Ideenschmiede werden“ (Burghardt et al. 2021, o. S.). Epistemische Durchlässigkeit kommt im Kontext der Digital Humanities also in der Aneignung eines spezifischen *experimentellen* Forschungshabitus zum Ausdruck, der vermittelt über digitaltechnische Tools und Infrastrukturen auch den Geisteswissenschaften offensteht. Digitale Strukturen als ‚zwischengeschaltete‘ vereinheitlichende Sprach-, Repräsentations-

und Operationsräume können dabei auch die zunächst noch ‚fremden‘ Erkenntnispraktiken für die eigene Forschungspraxis plausibel machen (weiterführend vgl. Abschnitte 5.2.3 und 5.2.4).

Aber auch mit Blick auf einen „digital turn“ (Donig 2023, S. 428) in den Geisteswissenschaften selbst argumentiert Simon DONIG, dass sich viele „Verfahrens- und Datenkompetenzen“ in den unterschiedlichen geisteswissenschaftlichen Fächern einander angenähert hätten, ja sich in einem Prozess der „Konvergenz“ zu befinden scheinen (Donig 2023, S. 431) und das „Digitale“ dabei zum integrativen Teil geisteswissenschaftlichen Forschens überhaupt werde (Donig/Rehbein 2022, S. 4). Innerhalb der geistes- und kulturwissenschaftlichen Disziplinen haben REICHE ET AL. (2014) lange zuvor bereits „disziplinübergreifende Überschneidungen“ in den digitalen Geisteswissenschaften ausgemacht, darunter im Kontext von Editionsverfahren, aber auch im Bereich der computer-gestützten Analyseverfahren, wie beispielsweise quantitative Verfahren der *Mustererkennung*. Diese sind sowohl für die Bildmustererkennung in der Kunstgeschichte als auch für Sprachmustererkennung in den Textwissenschaften bedeutsam (vgl. Reiche et al. 2014, S. 25 f.), in der Textanalyse handelt es sich vor allem um Text-Mining-Verfahren wie die Stilometrie oder das Topic Modelling (weiterführend vgl. Abschnitt 5.2.3).

Verfahrenstechnische Konvergenzen im Kontext des ‚digitalen Forschens‘ lassen sich aber auch für die Sozialwissenschaften feststellen. Auch hier hat sich das computer-, software- und datenbasierte Forschen längst etabliert, wie u. a. das Forschungsfeld der *Computational Social Sciences* (vgl. Lazer et al. 2009) zeigt, das sich in jüngerer Zeit u. a. der Analyse digitaltechnischer Möglichkeiten zur Erforschung digitaler „Verhaltensdaten“ sowie den hierfür benötigten *Data Science Methods* widmet. Bei digitalen Verhaltensdaten handelt es sich um „digitale Beobachtungen menschlichen und algorithmischen Verhaltens“, die u. a. auf Onlineplattformen bzw. Social-Media-Plattformen wie Google oder X bzw. durch Geräte und Anwendungen wie Smartphones, RFID-Sensoren, Street-View-Kameras bzw. mobile Apps erfasst werden (GESIS o. J., o. S.). So verfügt das Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften (GESIS) in Deutschland heute beispielsweise über ein eigenes „Computational Social Science“-Department (vgl. ebd., o. S.). Ziel der Einrichtung ist es, Wissenschaftende in den Sozialwissenschaften zu unterstützen, die „digitale Verhaltensdaten (DVD)“ in der Erforschung sozialer und sozio-technischer Phänomene nutzen wollen, so u. a. mithilfe der Methodenforschung. Letztere umfasst dabei vor allem die Erforschung datenbasierter Methoden bzw. *Data Science Methods*, Methoden im Kontext des Natural Language Processing, Machine Learning und der Network Science. Ziel ist es, „verbesserte Grundlagen für die Beschreibung, Quantifizierung und Erklärung soziotechnischer Phänomene zu schaffen“ (vgl. GESIS o. J., o. S.). Methodenforschung richtet sich dabei vor allem auf die Erforschung der *mathematisch-statistischen* Möglichkeitsbedingungen für sozialwissenschaftliches Forschen innerhalb digitaler Strukturen.

Im eingangs erwähnten DFG-Impulspapier zum *Digitalen Wandel in den Wissenschaften* werden so auch sogenannte “digital enablers” aus Fächern wie Informatik, Mathematik, Mathematische Statistik und Numerik, aber auch aus Bioinformatik und Computer-linguistik genannt, von denen wesentliche Impulse für den methodischen Fortschritt der

digitaltechnikbasierten Wissenschaften ausgehen sollen (vgl. DFG 2020, S. 7). Insgesamt scheint die angewandte Mathematik, wie Statistik sowie mathematische Verfahren der Datenanalyse, eine zentrale „*enabling technology*“ (Gramelsberger 2012, S. 169; H. i. O.) und damit *generische Praktik* der digitaltechnikbasierten Erkenntnisarbeit zu sein, und das zunehmend auch in den nicht ‚von Haus aus‘ mathematisch affinen Disziplinen. Wird also angewandte Mathematik gerade im Kontext der Analyse digitaler Daten zu einer grundlegenden Voraussetzung digitaltechnikbasierten Forschens? Und inwieweit kann und muss eine damit zusammenhängende Kompetenzförderung künftig Eingang in die Ausbildung von Wissenschaffenden erhalten?⁷⁶ Die Frage, welches Wissen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vor dem Hintergrund des digitalen Wandels zusätzlich zum fachdisziplinären Studium erwerben sollten bzw. müssen, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden, tangiert aber auch die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen. Beantwortet wird sie im bildungsorientierten Teil der Studie damit, dass die Förderung eines konzeptionellen Verständnisses mathematischer und technischer Zusammenhänge einer solchen Orientierung zuträglich ist. Im Kontext digitaler Technik als generische Vernetzungsstruktur, die, wie hier argumentiert wurde, auch zu einer Vereinheitlichung von Erkenntnis- und Forschungspraktiken führt, sei an dieser Stelle jedoch erwähnt, dass gerade mathematische Praktiken einen zentralen Teilbereich dieser Praktiken bilden – das ist auch erwartbar angesichts des Computers als „*Fleisch gewordene Mathematik*“, wie Konrad ZUSE es formuliert hatte (Zuse 2010, S. 100).

Die zunehmende generische Vernetzung und Konvergenz von auf digitaler Technik basierenden Erkenntnisstrategien und Praktiken ist nicht nur am Beispiel von Schnittstellentechnologien, Vernetzungsinfrastrukturen sowie Ontologien beobachtbar, sondern auch im Kontext methodischen Denkens. Im Folgenden soll am Beispiel von *Qualitative Data Analysis Software* (QDAS) eine spezifisch methodologische sowie softwarebasierte Spielart der in diesem Abschnitt beschriebenen generischen Strukturen digitaler Technik aufgezeigt werden. Das beispielhafte Kaprizieren auf QDAS erfolgt hier, weil kaum Forschungssoftware existiert, die so breitflächig genutzt und zugleich bereits umfänglich auf ihre epistemischen Implikationen hin reflektiert worden ist. Aus diesen Reflexionen lassen sich einige Anknüpfungspunkte herausarbeiten, die für die hiesige Konturierung einer generischen, transversalen und zugleich vorstrukturierenden digitalen Technik von Bedeutung sind.

⁷⁶ Hier haben – neben den Naturwissenschaften – zumindest die Sozialwissenschaften insofern bereits gute Voraussetzungen, als dass der Erwerb grundlegender mathematischer und statistischer Kenntnisse zum grundständigen sozialwissenschaftlichen Studium gehört und zum Teil auch zum methodologischen Grundverständnis der Sozialwissenschaften (vgl. u. a. Bortz/Schuster 2010).

5.1.5 Generische Methodologie

Für die Analyse qualitativer Daten steht schon seit Jahrzehnten *Computer Assisted Qualitative Data Analysis Software* (CAQDAS) oder auch *Qualitative Data Analysis Software* (QDAS) zur Verfügung, einer der bekanntesten kostenpflichtigen Softwaretitel ist MAXQDA (maxqda.com). In ihrem Beitrag zur technikbasierten „Revolution“ qualitativer Forschung beschreiben Judith DAVIDSON und Silvana DI GREGORIO die Entwicklung von QDAS als generische Softwarepakete, die sich inzwischen zu relativ umfassenden „all-in-one-packages“ entwickelt haben. In ihnen enthalten sind Möglichkeiten zur Organisation von Forschungsmaterialien sowie umfängliche Analysewerkzeuge, die es erlauben, qualitative Daten zu organisieren, vergleichen, interpretieren und zu reorganisieren (Davidson/di Gregorio 2011, S. 627). Burkhard SCHÄFFER argumentiert, dass die qualitative Sozialforschung – und damit auch ihr methodisches Selbstverständnis – „in all ihren historischen Phasen abhängig von den jeweils verfügbaren Medientechnologien“ gewesen ist und damit auch mit den damit einhergehenden „Medienpraxiskulturen“ (Schäffer 2022a, S. 145). Eine fehlende Berücksichtigung der „Technik-, Medien- und Materieabhängigkeit epistemischer Praktiken“ in der methodologischen Reflexion produziere daher „einen recht großen blinden Fleck“, den SCHÄFFER als die „Medien-, Technik- und Materievergessenheit qualitativer Methodologien“ (ebd., S. 155 f.) bezeichnet.

Demgegenüber beschreiben DAVIDSON und DI GREGORIO die Entwicklungsgeschichte von QDAS in ihrem Beitrag als Geschichte der gegenseitigen Einflussnahme methodologischer und technologischer Reflexion in der qualitativen Forschung (vgl. Davidson/di Gregorio 2011). Zu Beginn der von den Autorinnen dargestellten Entwicklungsgeschichte von QDAS waren qualitativ Forschende auf der Suche nach Möglichkeiten, meist narratives Material zu organisieren und zu analysieren und orientierten sich dabei beispielsweise an Loch- und Indexkartensystemen⁷⁷ sowie an Techniken des Annotierens und Suchens. Blaupause für die Entwicklung von QDAS bildeten Beobachtungen gene-

⁷⁷ In einem historischen Rückblick zeigen DAVIDSON und DI GREGORIO, dass Technik schon von Anbeginn Teil qualitativen Forschens war. Zu Beginn, den sie in den frühen 1900er Jahren verorten, wurden unterschiedliche Techniken entwickelt, die das qualitative Forschen unterstützten, darunter u. a. die Entwicklung von Carbonpapier. Damit konnten Durchschläge handgeschriebener Aufzeichnungen (z. B. Gesprächsnachrichten) erzeugt werden, die in Einzelteile zerschnitten und nach Kategorien sortiert werden konnten. Auch in der qualitativen Forschung sorgte zudem die Entwicklung zunächst händisch bedienbarer Lochkartensysteme für einen weiteren Entwicklungsschritt für das qualitative Forschen. Die Lochkarten enthielten Notizen, in deren Außenbereich Löcher gestanzt waren. Eine „mastercard“ enthielt eine Beschreibungslegende, die mit den eingestanzten Löchern im Außenbereich der Karte assoziiert war. Lochkarten wurden schließlich so „kodiert“, dass man das jeweils relevante Loch, das einer bestimmten Beschreibungskategorie zugeordnet war, in der Karte einkerbte. Abgerufen werden konnten Informationen, indem man eine Nadel in einen Kartenstapel in das Loch steckte, das für eine bestimmte Beschreibungskategorie stand. Karten, die aufgrund Ihrer Kerbung am oberen Rand der jeweils relevanten Stelle nicht an der Nadel hängenblieben, waren die relevanten Karten. Das Nutzen von 2 Nadeln gleichzeitig konnte ein boolsches „Und“ erzeugen. Mittels einer solchen Nadel konnten also bereits vor dem Einsatz von Computertechnik Informationen händisch gefiltert und logische Operationen durchgeführt werden (Davidson/di Gregorio 2011, S. 629 f.).

rischer Analysepraktiken im Kontext des qualitativen Forschens. John SEIDEL, der Entwickler der Software *Ethnograph*, identifizierte diese als das *Wahrnehmen*, *Sammeln* und *Reflektieren* von Datenmaterial („Noticing“, „Collecting“, „Thinking“) (Seidel 1998, S. 1). Diese als generisch identifizierten epistemischen Praktiken qualitativen Forschens fanden schließlich Eingang in die Grundstruktur von Analysesoftware.

Mitte der 1980er Jahre, als der Personalcomputer Einzug in den Wirkungsbereich von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern hieß, sind auch die Anfänge der Auseinandersetzung mit softwaretechnischen Fragen in der qualitativen Forschung zu verorten. Zu der Zeit wurden erstmals Programme entwickelt, die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei der Analyse qualitativer Materialien unterstützen sollten, wie *Ethnograph*, *Atlas.ti* oder *Max*. Dabei unterstützten die Programme der sogenannten „ersten Generation“ nur einfache „Cut-and-Paste Funktionen“ das die traditionelle Arbeitsweise mit „Papier, Schere, Kleber, Karteikarte“ beim Zuordnen von Kodes nachzuempfinden suchte. Die computergestützte Form des Kodierens in den Programmen der ersten Generation erfolgte dabei noch „in großer Distanz vom Text, indem Zeilenzuordnungen in Eingabemasken einzutippen waren“ (Kuckartz 2007, S. 16). Erst mit der zweiten und dritten Softwaregeneration öffnete sich QDA-Software verstärkt für ein freies Manipulieren und Adaptieren durch die Nutzenden. Vor allem die graphische Benutzeroberfläche sowie die Möglichkeit, Prozesse über die Maus zu steuern, ermöglichen schließlich komplexere Formen des Arbeitens mit qualitativen Daten, so beispielsweise die Entwicklung komplexer Kode- und Memosysteme sowie die Nutzung von Suchfunktionen (vgl. ebd., S. 16).

In den 1990er Jahren waren die Softwaretitel bereits so zahlreich, dass erste „Überblicksliteratur“ entstand (Kuckartz 2007, S. 17). KUCKARTZ hebt insbesondere die Arbeit von Renata TESCH (1990) hervor, die in ihrem Werk 25 Ansätze qualitativer Forschung unterscheidet und zugleich die Eignung von QDAS zur Umsetzung jener Ansätze diskutiert (vgl. Kuckartz 2007, S. 17). Die Arbeit von TESCH deutet auf zweierlei: Zum einen auf die große Vielfalt von als *qualitativ* geltenden methodischen Ansätzen, die bis heute ungebrochen ist (vgl. u. a. Berliner Methodentreffen 2023, o. S.; Rädiker/Kuckartz 2019, S. 7). Zum anderen weist sie darauf hin, dass die Versuche der Typologisierung bzw. Verallgemeinerung *typisch* qualitativer Methoden und Ansätze nicht selten auch in der Auseinandersetzung mit der Technik, konkret: ihrer softwarebasierten ‚Umsetzbarkeit‘, erfolgte. Renata TESCH unterscheidet Ansätze und Methoden zunächst aufgrund des ihnen unterliegenden Forschungsinteresses, das sich in der qualitativen Forschung auf die „Merkmale der Sprache“, „Entdeckung von Regelmäßigkeiten“, „Bedeutung von Texten und Handlungen“ sowie auf „Reflexion“ richten könne (Rädiker/Kuckartz 2019, S. 7; Tesch 1990, S. 72 f.). Sichtbar wird dabei der Versuch, allgemeine, typologische bzw. generische Merkmale qualitativen Forschens bzw. generische Analysestrategien der qua-

litativen Forschung zu extrahieren.⁷⁸ Christina SILVER und Ann LEWINS, auf die RÄDIKER und KUCKARTZ verweisen, listen dann auch nicht eine Vielzahl qualitativer Ansätze auf, sondern beschränken sich in ihrem Werk auf fünf übergeordnete qualitative Analysestrategien,⁷⁹ die mithilfe von QDA-Software besonders gut umsetzbar sind (vgl. Rädiker/Kuckartz 2019, S. 8; Silver/Lewins 2014, S. 23–33). Hier ließe sich also behaupten, dass am Kristallisierungspunkt *softwaretechnischer* Strukturen eine Reduktion und zugleich *Konturierung* des methodischen Selbstverständnisses erfolgt. Dabei fungiert Softwaretechnik als Strukturprinzip, das dafür sorgt, dass bestimmte Vorgehensweisen in den Vordergrund der methodisch-methodologischen Reflexion geraten.

An dieser Stelle greife ich die von DAVIDSON und DI GREGORIO vorgenommene Analyse wieder auf, in der u. a. deutlich wird, dass die Entwicklung von QDAS nicht separat von einem zugleich stattfindenden methodologischen Diskurs betrachtet werden kann. Symptomatisch dafür stehen insbesondere die Auseinandersetzungen rund um die Grounded-Theory-Methodologie (GTM) und die Frage nach der softwaretechnischen Umsetzbarkeit des damit verbundenen Vorgehens. Das einige Zeit vor der Veröffentlichung der ersten QDAS-Titel publizierte und für die qualitative Forschung bahnbrechende Werk von Barney GLASER und Anselm STRAUSS (1968) *The Discovery of Grounded Theory* lieferte eine Begründung für die wissenschaftsmethodische Relevanz und Rechtmäßigkeit qualitativer Forschungspraktiken (vgl. Davidson/di Gregorio 2011, S. 630). Die Arbeiten von GLASER und STRAUSS – später auch von Juliet CORBIN – trugen zu einem wachsenden Interesse am qualitativen Forschen in den Sozialwissenschaften bei, sie beeinflussten gleichermaßen aber auch den Diskurs um die Entwicklung von QDAS.⁸⁰ Die Softwareprodukte, so DAVIDSON und DI GREGORIO, waren ursprünglich als generische Werkzeuge entwickelt worden, die Forschende bei der Bewältigung unstrukturierten Datenmaterials unterstützen sollten. Aufgrund der Popularität der GTM waren Entwicklerinnen und

⁷⁸ Diesem Versuch einer verallgemeinernden Zuspitzung qualitativer Forschungsmethoden und Verfahrensweisen in Typologien oder Analysestrategien liegt die Beobachtung zugrunde, dass „diese diversen Methodologien, Methoden und Techniken in der empirischen Forschung mehr oder weniger häufig benutzt werden und dass sie alle von der Unterstützung von QDA-Software profitieren“ (Rädiker/Kuckartz 2019, S. 9). Dabei ähneln solche Typologisierungen nicht selten eher „Playlists in YouTube, die nach bestimmten Kriterien Ähnliches zusammenfassen, aber nicht den Anspruch besitzen, eine den gesamten Bereich erfassende Systematik zu erstellen“ (ebd., S. 9).

⁷⁹ Bei den von SILVER und LEWINS identifizierten und hier als generisch interpretierten Analysestrategien handelt es sich um die Diskursanalyse (sprachbasierte Ansätze), narrative Analyse (sprachbasierte Analyse narrativer Quellen), Framework-Analyse (kategoriebasierte Analyse), Grounded Theory (als mehrstufiger Kodierprozess und Methode des konstanten Vergleichs) sowie die thematische Analyse (die eher als eine detaillierte Beschreibung von Daten ohne methodologische Grundannahmen gelten kann) (vgl. Rädiker/Kuckartz 2019, S. 8).

⁸⁰ Bemerkenswert ist, dass das Werk von GLASER und STRAUSS in die Zeit der Entwicklung der ersten Mainframe-Computer im Jahr 1965 fiel, die zunächst einen wichtigen Entwicklungsschritt für die quantitative Datenanalyse darstellte. Computer wurden dabei vor allem mit dem Zählen und Durchführen mathematischer Rechenoperationen und damit statistischer Analysemöglichkeiten assoziiert, für die heute im Bereich sozialwissenschaftlichen softwarebasierten Forschens die Software SPSS beispielhaft steht (vgl. Davidson/di Gregorio 2011, S. 630).

Entwickler jedoch darum bemüht, die Kompatibilität der Software mit den Prinzipien der GTM zu betonen. Dies wiederum führte jedoch zu Bedenken bezüglich der epistemischen Bedeutung von QDA-Software überhaupt. Befürchtet wurde, dass spezifische methodische Perspektiven in der Software zu stark im Vordergrund stehen und die Software dadurch zu „präskriptiv“ wirken könnte (Davidson/di Gregorio 2011, S. 631; Übers. OM).

Der methodische Stellenwert von QDA-Software wird bereits seit den Anfängen ihrer Entwicklung kontrovers diskutiert (vgl. Rädiker/Kuckartz 2019, S. 10): Eher technikpessimistische Positionen unterstellen QDAS dabei ein „Hidden Curriculum“, in dem Analyseprozesse der qualitativen Forschung stark im Hinblick auf bestimmte Analysestrategien hin vorstrukturiert werden, betont werde in der Software vor allem die *kategorienbezogene* Analyse, während interpretative Ansätze benachteilige werden. Eine solche skeptische Positionierung lässt sich beispielsweise bei Barney GLASER (1992) nachverfolgen (vgl. Rädiker/Kuckartz 2019, S. 10).

Autorinnen und Autoren wie Udo KELLE (1998) sowie RÄDIKER und KUCKARTZ selbst zeigen unter Verweis auf die Forschungspraxis, dass QDAS im Rahmen sehr *unterschiedlicher* Methoden und Methodologien eingesetzt werden kann, darunter sowohl im Rahmen von GTM-Designs als auch im Rahmen von Diskursanalysen, qualitativen Inhaltsanalysen oder der Dokumentarischen Methode. Die Software fungiere hier in der Art eines „Werkzeugkastens“, die in technikoptimistischer Deutung häufig aber auch so interpretiert wird, als wenn „es sich bei QDAS quasi um einen methodenneutralen Werkzeugkasten handele, aus dem man sich je nach präferierter Methode die geeigneten Werkzeuge aussuchen könne“ (Rädiker/Kuckartz 2019, S. 11).

Vor dem Hintergrund der langjährigen Entwicklungsgeschichte von QDA-Software, zu der neuerdings auch die Integration Künstlicher-Intelligenz-Techniken zählt (s. u.), sei nun jedoch eine kritische Revision der Auffassung von QDAS als „Toolbox“ angebracht. Vor diesem Hintergrund klassifizieren RÄDIKER und KUCKARTZ QDAS nunmehr eher als „Methode“ denn als „Werkzeugkasten“, da die Werkzeugmetapher die Auswirkungen von Software auf die tatsächlichen Forschungspraktiken verharmlose (Rädiker/Kuckartz 2019, S. 10 f.). Andererseits handle es sich bei der softwarebasierten Analyse qualitativer Daten auch um keine „standardisierte Methode, die in immer gleicher Form an das Datenmaterial herangetragen wird“ (Kuckartz 2007, S. 18), denn ihre konkrete Ausprägung hänge zugleich von weiteren methodischen Überlegungen der Wissenschaftlern, dem gewählten theoretischen Ansatz sowie von Art und Umfang des Datenmaterials ab (vgl. ebd., S. 18). Als „Methode“ können QDA-Programme aber RÄDIKER und KUCKARTZ zufolge dennoch gelten, insofern Methoden den „Weg“ (*methodos*) der systematischen Wissensgenese markieren (vgl. Abschnitt 4.1) und Software als strukturierende Struktur stets „klare Handlungsanweisungen“ (Rädiker/Kuckartz 2019, S. 12) zum Nachverfolgen eines Erkenntnisziels enthält.

Auch hier tritt wiederum die *Ambivalenz* der Erkenntnisarbeit auf Basis digitaler (Software-)Technik zutage. Dass Forschende unterschiedlicher ‚Schulen‘, Forschungsstile und Analysetechniken dieselbe QDA-Software einsetzen können, spricht einerseits für ihre

interpretative Flexibilität als generische Forschungstechnik. Hinzu kommt, dass die umfangreichen QDA-Softwaretitel auch neue Features zur Erweiterung tradierter methodischer Möglichkeiten mitbringen und damit einen „Methodenüberschuss“ (Rädiker/Kuckartz 2019, S. 12) erzeugen (vgl. Abschnitt 5.2.3). QDA-Software kann aber dennoch nicht als *neutrale Toolbox* betrachtet werden, denn aufgrund ihrer spezifischen technischen Struktur werden bestimmte Analyseperspektiven in ihr bevorzugt „angeboten“. So argumentiert Burkhard SCHÄFFER, dass während in den meisten der umfangreichen QDA-Softwareprogrammen stets „Methodenneutralität und ubiquitäre (sic!) Anwendbarkeit“ betont werde, doch eine „Kritik an der impliziten Ausrichtung gängiger QDA-Software an inhaltsanalytischen Verfahren und hier insbesondere am Vorabfestlegen von Codesystemen“ angebracht sei.⁸¹ Das heißt allerdings nicht, dass die Umsetzung von GTM-Designs im Rahmen der gängigen Softwarepakete, wie MAXQDA, nicht möglich ist, so erlaubt beispielsweise die Funktion „Offenes Codieren“ (MAXQDA 2022b, S. 210 f.) auch Ansätze, die sich eher am Stil der Grounded Theory orientieren. Dennoch lässt sich nachvollziehen, dass die technisch-methodische *Vorstrukturierung* der Software zum deduktiven *inhaltsanalytischen* Vorgehen tendiert (vgl. auch Abschnitt 5.2.3), dieses strukturell also eher „anbietet“, um hier eine Brücke zum Affordanzbegriff zu schlagen (vgl. Abschnitt 2.4). Neben methodologischen Präferenzen prägen auch weitere Faktoren wie „Marktlogiken, Programmiersprachen, Designpraktiken“ sowie Nutzungsgewohnheiten wie „copy & paste“ oder die „Wischgeste“ die Entwicklung der Software, die wiederum „zu neuen Formen habitualisierten Interpretationshandelns“ (Schäffer/Klinge/Krämer 2021, S. 166) führen können (zu Technik und implizitem Wissen vgl. Abschnitt 6.2.1).

Im Zuge der ‚Übersetzung‘ methodischer Praktiken in eine Softwarestruktur findet also eine Reduktion statt, bei der *Methode* auf „ihre Formalisierbarkeit und digitale Rekonstituierbarkeit“ (Schäffer/Klinge/Krämer 2021, S. 167) hin zugespitzt wird und das eigene methodische Selbstverständnis sich entlang der Software konturiert (s. o.). Burkhard SCHÄFFER, Denise KLINGE und Franz KRÄMER zeigen zugleich, welche *Bildungspotentiale* in diesem Prozess liegen. Diese resultieren daraus, dass wissenschaftliche Praktikerinnen und Praktiker im Kontext der kooperativen Entwicklung einer Software dazu gezwungen sind, ihr methodisches Selbstverständnis zu *explizieren*, dafür die eigenen Interpretationspraktiken zu rekonstruieren und Teile der „oft habitualisierte[n] Interpretationspraxis mit paper und pencil“ nachvollziehbar zu machen. In diesem Prozess, den SCHÄFFER, KLINGE und KRÄMER am Beispiel der Entwicklung der Software *DokuMet* demonstrieren, offenbarten sich „blinde Flecken“ des Vorgehens im Kontext der Doku-

⁸¹ Der Fokus auf inhaltsanalytische, kodierorientierte Analysestrategien vernachlässige dabei in etwa sequenzanalytische oder rekonstruktive Verfahren, für die bisher „keine befriedigenden Softwarelösungen“ bestehen (Schäffer 2022a, S. 154). SCHÄFFER verweist hier auf ein alternatives Softwareprojekt, das diesem Desiderat zu begegnen versucht. Im Programm *quintexA* werde die übliche inhaltsanalytisch orientierte Softwarestruktur durch eine ersetzt, die eher einer im Rahmen der GTM üblichen Denkweise entspricht: Hierbei stehe der Kodievorgang nicht, wie in den populären Softwarepaketen üblich, am Anfang, sondern am Ende des Analyseprozesses (vgl. ebd., S. 154).

mentarischen Methode, die die Forschenden bis dato vor allem über das im Laufe ihrer wissenschaftlichen Sozialisation erworbene implizite Wissen füllten. Laut der Autorinnen- und Autorengruppe war es gelungen, einige dieser impliziten Praktiken „softwarelogisch“ zu modellieren und damit zu explizieren (Schäffer/Klinge/Krämer 2021, S. 172).⁸² Das damit verbundene Aufdecken „blinde[r] Flecken“ habitualisierter Interpretationspraktiken enthalte der Autorin und den Autoren zufolge auch didaktische Potentiale zur wissenschaftlichen Nachwuchsförderung sowie zur Methodenlehre. Wissenschaftlicher Nachwuchs könne über die Explikation von Methodenwissen in der Software „schneller ins Tun“ kommen (ebd., S. 178), da der praktische „Vollzug“ stets von zentraler Bedeutung für die Aneignung von Methodenwissen ist. Die Aneignung von Interpretationspraktiken erfolgt dabei eben nicht nur durch Lehrbuchwissen, wie Methodenlehrbücher es verfügbar machen, oder durch Nachahmung, wie es in Forschungswerkstätten erfolgt, sondern auch in Form einer „Abfolge von explizierten Zuständen, die die lernende Person zusammen mit der Software selbst herstellen und ineinander übergehen lassen kann“ (ebd., S. 178).

Solche zur Überführung in digitaltechnische Strukturen notwendigen Explikationsprozesse können insgesamt als Bildungsanlässe dienen, insofern sie dazu auffordern, über oft implizit verbleibende Dimensionen des eigenen Wissens und Könnens nachzudenken. In diesem Sinne kann insbesondere die Softwareentwicklung „Denkprozesse und Kreativität“ (Manovich 2013, S. 83–98) unterstützen, wie es unter dem Schlagwort des *Computational Thinking* immer wieder auch für Bildungskontexte beansprucht wird (vgl. Abschnitt 6.3.3). Computational Thinking als Befragung von Problemlagen auf die Bedingungen ihrer Lösbarkeit mithilfe eines Computers führte im oben aufgeführten Beispiel zur kritischen Auseinandersetzung mit methodischem Denken und den häufig implizit verbleibenden, habitualisierten Forschungslogiken und -praktiken. Von Interesse für die vorliegende Studie ist allerdings, inwiefern ein solches Computational Thinking nicht nur die kritische Befragung des eigenen Denkens zu befördern vermag, sondern auch zu Orientierungsprozessen *innerhalb* digitaltechnischer Strukturen sowie zur Technikreflexion im Allgemeinen beitragen kann. Sichtbar wird bereits an dieser Stelle das Reflexionspotential, das in der Verflechtung von Fragestellungen der eigenen Wissens-

⁸² Lehrreich war dabei für die Forschenden, den Weg von einer „sequenziellen Feinschrittigkeit“ der reflektierenden Interpretation zur *typenbildenden* Interpretation zu explizieren. Typenbildung ist keine neue Interpretationspraxis, sondern eine, die sich „bislang im Besonderen auf der Ebene des impliziten Interpretationswissens vollzog“ (Schäffer/Klinge/Krämer 2021, S. 176). Bei diesem Schritt wird in der methodischen Begründung zwar gerne auf die damit zusammenhängenden abduktiven Denkvorgänge der Forschenden verwiesen, es wird dabei aber nicht beschrieben, wie solche Abduktionen „so ‚verwertet‘ werden können, dass sie den Kern für eine Typisierung im sinn- oder soziogenetischen Sinne“ abgeben können. Im von der Autorin und den Autoren beschriebenen Softwareentwicklungsprozess entstand nun die Idee, diese „Leerstelle beim Prozedere der Dokumentarischen Methode“ zu füllen und so den Prozess der Typenbildung im Kontext der Dokumentarischen Methode transparenter zu machen. In der Software werden dabei „erste typisierende Interpretationen, welche bislang in der habitualisierten Interpretationspraxis in der komparativen Analyse mehr oder weniger mitliefen, unter dem Vereindeutigungsdruck seitens der Softwarelogik systematisch expliziert“ (ebd., S. 176; Herv. OM).

domäne und des eigenen Erkenntnisinteresses mit einer entsprechenden digitaltechnischen Perspektivierung dieses Interesses besteht – im hier vorgestellten Fall also methodologischer Fragen der qualitativen Forschung mit ihrer softwaretechnischen Umsetzung. Diese Verquickung soll in der bildungsorientierten Analyse im letzten Teil der Studie als Möglichkeit der Genese bildender Erfahrung konturiert werden, bei der das Verbinden des Nachdenkens *über* Technik mit persönlichen, situativen (Erkenntnis-)Interessen Orientierungsprozesse befördern kann (vgl. Abschnitt 6).

Im Kontext der vorliegenden Analyse der Bedeutung von QDA-Software für das methodische Denken in der qualitativen Forschung ist abschließend auch zu bemerken, dass gerade von den umfänglichen Softwarepaketen zur Qualitativen Datenanalyse stets auch ein „Strukturierungspotenzial für neuartige Praxen des Interpretierens“ ausgeht (Schäffer/Klinge/Krämer 2021, S. 167; H. i. O.). Man könnte im Sinne der hier verwendeten Terminologie auch sagen, dass die generische Struktur der Software auch *produktiv* ist, insofern sie die Genese neuer bzw. erweiterter Interpretationspraktiken evoziert, wie in Abschnitt 5.2.3 noch genauer analysiert wird. Während Strukturiertheit nicht selten auf Determinierung deutet, ist die spezifische Struktur der digitalen (Software-)Technik eine flexiblere, deren interpretative Flexibilität auch ihr Einbettung in neuartige Kontexte geradezu nahelegt. So gewannen Softwarereprodukte wie MAXQDA im Laufe ihrer Entwicklungsgeschichte „an Breite und Tiefe“ (Schäffer 2022a, S. 152): Während viele neue Programme zur Analyse qualitativer Daten auf den Markt kamen, so wurden zugleich neue Funktionen in die Software integriert, hier vor allem Schnittstellen zu *quantitativen* Analyseverfahren, die Mixed-Methods-Ansätze erlaubten (vgl. ebd., S. 152). Hinzu kommt, dass in die großen QDAS-Pakete häufig Funktionen integriert werden, die „in keinem Methodenlehrbuch jenseits von QDAS zu finden sind“, wie z. B. die Integration von *Geolinks* (vgl. u. a. MAXQDA 2022b, S. 311), die eine Verlinkung des Datenmaterials mit Geodaten ermöglichen, oder auch von *Visual Tools* (vgl. u. a. ebd., S. 394–519) mit Funktionen zur Datenvisualisierung (vgl. Rädiker/Kuckartz 2019, S. 11), die ebenfalls in Abschnitt 5.2.3 noch einmal in den Blick genommen werden. Einen weiteren Sprung in der Entwicklung solcher QDAS-Pakete stellt aktuell die Integration KI-basierter Werkzeuge dar, so beispielsweise die Funktion *AI Assist* für MAXQDA (vgl. MAXQDA 2022a). Die Integration von Techniken, die auf maschinellem Lernen basieren, könnte schließlich zu einer weiteren methodischen Flexibilisierung, zugleich aber zum Versuch einer weitergehenden ‚Automatisierung‘ qualitativen Forschens beitragen, darunter u. a. im Bereich der Spracherkennung sowie der automatisierten Genese und Systematisierung von Texten und unstrukturierten Daten.⁸³

⁸³ Schon länger sind beispielsweise Spracherkennungssysteme in der Lage, auf Basis von Audioaufnahmen Transkriptionen zu erstellen (vgl. Schäffer 2022a, S. 153). Während die „Platzhirsche“ (ebd., S. 152) unter den QDAS-Paketen derzeit die neueren GPT-Sprachmodelle in ihren Paketen zu integrieren suchen, machen sich Programme wie *Ravens Eye* die Künstlichen-Intelligenz-Techniken längst zunutze, so beispielsweise zur Vorsortierung relevanter Passagen oder zur Suche nach „Begriffe[n] oder Begriffskombinationen in bestimmten Wortumfeldern“ (ebd., S. 154).

Die wie andere digitale Objekte stets *im Werden* begriffenen QDA-Softwaretitel stellen insgesamt betrachtet einen generischen Sprach-, Repräsentations- und Operationsraum dar, der sich am besten mit dem Terminus der Konvergenz beschreiben lässt, der auf die generelle Öffnung des methodischen Zugriffs über die Software deutet. Die Software ist dabei aber weder komplett offen und damit so generisch, dass sie wirklich alle qualitativen Methoden und Ansätze abbilden könnte, noch komplett geschlossen, so dass sie methodische Zugriffe auf lediglich einzelne Ansätze und Verfahrensweisen zuschneidet. Während sie eine Vielfalt an Verfahren der Datenanalyse zulässt, unterwirft der softwaretechnische Möglichkeitsraum die analytischen Vorgehensweisen auch gemäß der ihm eigenen Struktur und Softwarelogik einer Vorstrukturierung. Die umfangreichen Softwarepakete der qualitativen Datenanalyse wie MAXQDA, Atlas.ti oder Nvivo lassen sich daher mit Johannes ROHBECK als „[b]egrenzte Vielfalt“ (Rohbeck 1993, S. 248) beschreiben. QDAS lässt dabei einen spezifischen „Aufforderungscharakter“ erkennen, der zum spielerischen, tentativen ‚Experimentieren‘ mit Daten auffordert, wie an anderer Stelle noch näher analysiert wird (vgl. Abschnitt 5.2.3). Weiterhin fordern die umfänglichen QDA-Pakete auch dazu auf, „die erweiterten methodischen Möglichkeiten [der Software] zu nutzen“, also gerade solche Funktionen und Methoden, die noch von keinem „Methodenlehrbuch“ erfasst wurden (Rädiker/Kuckartz 2019, S. 11 f.). Die interpretative Flexibilität digitaler Softwaretechnik äußert sich also auch in einem *Überschuss* an Möglichkeiten, aus denen auszuwählen ist. Insgesamt kann mit SCHÄFFER argumentiert werden, dass „die ‚Produktionsmittel‘ für die Erzeugung, Ordnung und Speicherung von Daten, ihre Reproduktion und interaktive Interpretation sowie ihre öffentliche Darbietung in Gänze verändert und so die ‚Produktivkräfte‘ qualitativer Forschung immens gesteigert wurden“. Mit der hier verwendeten marxistischen Terminologie macht SCHÄFFER darauf aufmerksam, dass es sich auch in der qualitativen Sozialforschung „insgesamt um ein Unternehmen gesellschaftlicher Erkenntnisproduktion handelt“, das nicht jenseits aller meiner Transformationsprozesse, wie dem digitalen Wandel, gedeutet werden kann (Schäffer 2022a, S. 155). Zu fragen ist im Folgenden aber, in welcher Form digitale Technik die „Produktivkräfte“ des – nicht nur qualitativen – Forschens transformiert. Dieser Aspekt wird in den folgenden Abschnitten unter dem Terminus der *Generativität* diskutiert.

5.2 Generativität – produktive Formen der Erkenntnisarbeit innerhalb des digitaltechnischen Allgemeinen

Was passiert nun aus epistemischer Sicht in dem zuvor beschriebenen generischen Sprach-, Repräsentations- und Operationsraum, der auf der digitalen Software- und Hardwaretechnik als Struktur und Allgemeines aufsetzt? JOERGES und SHINN und haben diesen mit „interpretative flexibility“ (Joerges/Shinn 2001a, S. 9) beschrieben und ihn dadurch eben nicht als technischen Determinationsraum gekennzeichnet, sondern als eine Struktur, die flexibel ist und daher Anpassungen und Adaptionen zulässt, die für eigene, lokale Forschungskontexte produktiv gemacht werden können. Wie zu zeigen ist, wird dabei im Kontext digitaler Technik etwas möglich, das Lev MANOVICH unter dem Terminus „deep

remixability” (Manovich 2013, S. 46) diskutiert hat: Die generische digitale Struktur ermöglicht das Neu-in-Beziehung-Setzen unterschiedlicher Daten und Materialien, aber auch von Erkenntnispraktiken und Verfahren. Zu zeigen ist im Folgenden, dass in digitaltechnikbasierten Erkenntnisräumen eine neuartige, praxisbasierte *Produktivität* der Wissensgenese entsteht, die ich im Folgenden unter dem in jüngster Zeit im Kontext generativer KI-Techniken populär gewordenen Terminus der *Generativität* zusammenfassen will. Generativität innerhalb generischer, digitaltechnischer Erkenntnisräume zeichnet sich dabei durch eine spezifische Form der *Performativität* aus, insofern dort Daten, Materialien, Praktiken und Verfahren durch Rekontextualisierungen reinszeniert werden und so zur Genese neuen Wissens beitragen können. Im folgenden Abschnitt stehen auf dem Prinzip der Performativität gründende generative bzw. produktive Eigenschaften digitaler Technik im Vordergrund. Performativität wird dabei in unterschiedlichen Erkenntnispraktiken sichtbar, darunter die *Mustererkennung*, *Kategorienbildung*, das *Visualisieren* und *Simulieren*. Die in den folgenden Überschriften verwendete Formel „Vom Datum zum...“ soll dabei auf den produktiven Charakter der in den Abschnitten beschriebenen Praktiken verweisen. Zuvor wird jedoch die unter den Terminen der Performativität, Produktivität und Generativität gemeinte Erkenntnisorientierung konzeptionell verortet und dabei mit dem Begriff des *Spiels* verknüpft.

5.2.1 Vom Datum zum Spiel

In diesem ersten Teilabschnitt wird argumentiert, dass die Generizität und Flexibilität digitaler Technik Wissenschaffenden einen tentativ-experimentellen Zugang zu Erkenntnisgegenständen ermöglicht, dem Charakterzüge des Spiels innewohnen. Wodurch ist das Ludische als produktive Erkenntnispraktik innerhalb digitaltechnischer Strukturen gekennzeichnet? Bei dieser Deutung steht weniger das Regelfeste des Spiels im Vordergrund, wie HUIZINGA in seiner Erkenntniskritik des Spiels beschreibt (vgl. Huizinga 2022, S. 10), sondern die damit zusammenhängenden freien Handlungsmöglichkeiten: Spiel ist für HUIZINGA „freies Handeln“ (ebd., S. 16). Es besteht im „bloß so tun“ (ebd., S. 16), das jedoch nicht völlig unbegrenzt, sondern „innerhalb bestimmter Grenzen von Zeit und Raum“ (ebd., S. 18) stattfindet. Es bewegt sich innerhalb eines „Spielplatzes“, wie beispielsweise auf einem Spielbrett, das als „zeitweilige Welten innerhalb der gewöhnlichen Welt“ dient, auf dem eine spezifische „unbedingte Ordnung“ (ebd., S. 18 f.) herrscht. Freies Spiel findet hier also innerhalb einer ordnenden Struktur statt, die nicht beliebig ist.

Im Kontext digitaltechnischer Strukturen kann ein solches Spiel aufgrund der symbolischen Verfasstheit des digitaltechnischen Erkenntnisraums als „Probehandeln“ bezeichnet werden, wie Hartmut WINKLER argumentiert: „Das Terrain des Symbolischen [...] kann man über den Begriff des Probehandelns definieren. Innerhalb der Gesellschaft wird eine Sphäre abgegrenzt, die zwar tatsächlich-materiell ist, deren Operationen gleichzeitig aber von tatsächlichen Konsequenzen abgekoppelt sind. Bestimmte Dinge werden ausgewählt, die als Zeichen, als Signifikanten, Spielsteine verwendet werden, und es wird die implizite Vereinbarung getroffen, dass Handlungen in der Sphäre des Symbolischen

keine tatsächlichen Konsequenzen haben“ (Winkler 2015, S. 59). Probehandeln innerhalb digitaltechnischer Erkenntnisräume – soviel sei vorweggenommen – überschreitet allerdings dort die Grenzen des Spiels, wo schließlich entsprechende Resultate jenes symbolischen digitaltechnikbasierten Probehandelns eine realweltliche ‚Materialisierung‘ erhalten, wie beispielsweise beim 3D-Druck eines Modells.

Anne DIPPEL (2017) hat in einer kulturanthropologischen Studie untersucht, inwiefern das *Spiel* einen Teil der Erkenntnispraktiken im Kontext der Hochenergiephysik am CERN kennzeichnet. Das CERN ist eines der größten datenproduzierenden Forschungszentren (vgl. ebd., S. 487) und Bewältigungsstrategien im Umgang mit den großen Datenmengen durch die weltweite Forschungsgemeinschaft zeichnen sich DIPPEL zufolge auch durch ludische Aspekte aus. Sie verweist dabei auch auf die Arbeiten von Martina MERZ und Karin KNORR CETINA, die, neben anderen, das Wissenschaftsfeld der Hochenergiephysik untersucht haben und die in ihren Arbeiten u. a. auch auf „die Kreativität und imaginative Kraft des Ludischen“ deuten, so beispielsweise, wenn die Forschenden ihre Arbeit an Gleichungen mit „herumspielen“ und ihr Forschungsfeld als “playgrounds infinite” beschreiben (Merz/Knorr Cetina 1994, S. 13; vgl. auch Dippel 2017, S. 490). Im Rahmen ihrer anthropologischen Feldforschung am CERN berichtet DIPPEL von Initiativen am Forschungszentrum, bei denen Probleme im Kontext der Analyse großer Datenmengen auch dadurch gelöst werden, dass Code und Daten online veröffentlicht werden und dann zu Wettbewerben – *Challenges* – aufgerufen werde, die, so die Autorin, inzwischen einen „integralen Bestandteil des an Big Data orientierten Forschungsprozesses“ darstellen (Dippel 2017, S. 507). Aber auch die Arbeit am LHC selbst stelle eine Art „imaginäres Würfelspiel“ dar, wenn beispielsweise auf Grundlage von Monte-Carlo-Simulationen auf Basis von „Pseudo-Zufallszahlen“ sowie sehr großer Datenmengen der Versuch unternommen werde, natürliche Eigenschaften der untersuchten Elementarteilchen vorherzusagen (ebd., S. 495).

Auch in der als *Technowissenschaften* bezeichneten Ausprägung der Naturwissenschaften lassen sich auf Grundlage von „Stochastik und Tinkering“ und mithilfe von Hoch- und Höchstleistungsrechenstrukturen die komplexen Mechanismen der Natur auch „ohne ihre exakte Kenntnis instrumentalisieren“ (Weber 2003, S. 232), schreibt Jutta WEBER in ihrer Studie *Umkämpfte Natur*. In der Biotechnologie sowie der Artificial-Life-Forschung werde dabei auf Emergenzen produzierende Verfahren des spielenden Erprobens („Tinkering“) zurückgegriffen (vgl. ebd., S. 166). Das damit verbundene Rekombinieren und „Basteln“ stellt zwar keine grundsätzliche epistemologische Neuerung im Kontext der Naturwissenschaften dar, es werden dadurch allerdings „konstruierende und konstruktivistische Verfahren [...]“ erstmals deutlich sichtbar und gewissermaßen auch zum Programm“ (ebd., S. 140). Teil der damit zusammenhängenden Forschungslogik ist es, sich der „Mechanismen der Evolution“ (ebd., S. 232 f.) sowie des „Konzept[s] der Emergenz“ (ebd., S. 165) zu bedienen, um damit evolutionäre, nicht-lineare Verarbeitungsprozesse in die naturwissenschaftliche Erkenntnisarbeit einzuführen, die unerkannte bzw. nicht absehbare neue Eigenschaften realweltlicher Strukturen zutage befördern sollen. Oder aber

sie zielen darauf ab, unter Vorgabe eines „Evolutionsziels“ Berechnungen durchzuführen, deren Berechnungsweg durch zahlreiche rekursive Berechnungsschleifen führen und so stets intransparent bleiben, ganz gemäß dem Prinzip: „Das Ziel erreichen, ohne den Weg zu kennen“ (ebd., S. 233). Ein solches naturwissenschaftliches Tinkering erfolgt heute nicht mehr nur in den ‚Wet-Labs‘, sondern innerhalb von ‚Computerlaboren‘, in denen statistische Optimierungsverfahren wie beispielsweise ‚evolutionary programming‘ und die Genese ‚genetischer Algorithmen‘ (ebd., S. 233) erkenntnisweiternde Kontingenzen produzieren sollen (vgl. Abschnitte 3.3 und 5.2.4).

Im Zusammenhang solch spielerischer, tentativer Erkenntnistrategien lässt sich argumentieren, dass sich die „Synthesis als Forschungslogik“ (Gramelsberger 2014, S. 17) zu etablieren scheint. Während seit GALILEI und NEWTON noch die „Analyse“ dominierte, durch die Unbekanntes durch empirisches und mathematisches Analysieren sichtbar gemacht und schließlich in Theorien synthetisiert wurde, zeigt sich vor dem Hintergrund leistungsstarker Rechner, die große Datenmengen analysieren und rekombinieren können, eine Umkehrung: „Nicht mehr das Unbekannte als empirisch Gegebenes im Sinne eines noch nicht Entdeckten, das durch Analyse erschlossen wird, steht im Mittelpunkt, sondern das Unbekannte als das zu Synthetisierende“ (ebd., S. 17). Deutlich wird das u. a. in den Entwicklungen in Chemie und Biologie: So kann der Bestand computertechnisch generierter Moleküle auf inzwischen mehr als siebzehn Millionen errechneter Molekülverbindungen geschätzt werden, in der Biologie sind die bisher 20 natürlichen Aminosäuren um weitere 40 ergänzt worden und auch die vier Proteinbasen (A, G, C, T) der DNA können inzwischen mit neuen Bausteinen (DNX) erweitert werden (vgl. ebd., S. 18).

Aber nicht nur in den Naturwissenschaften wird das Ausprobieren innerhalb digital-technischer Strukturen zum Teil einer digitaltechnikbasierten Forschungslogik, sondern auch die wissenschaftsmethodisch-technischen Reflexionen der sogenannten ‚digitalen Geisteswissenschaften‘ bzw. Digital Humanities haben spielerischen, tentativen Charakter. Wie bereits erwähnt, erklären Elijah MEEKS und Scott WEINGART die eingehende Beschäftigung der Digital Humanities mit der Entwicklung digitaler Werkzeuge damit, dass Tools als Vergegenständlichung von Methoden betrachtet werden und die Weiterentwicklung von technischen Werkzeugen eine neuartige Form *methodischen Denkens* darstellt (vgl. Meeks/Weingart 2012, S. 5). Der methodologische Diskurs der Digital Humanities ist dabei von einer gestalterischen Tentativität geprägt, bei der es vor allem darum geht, ‚Hand anzulegen‘, wie BURDICK ET AL. argumentieren: ‚Digital Humanities is a production-based endeavor in which theoretical issues get tested in the design of implementations, and implementations are loci of theoretical reflection and elaboration‘. Methoden- und Toolentwicklung zeigt sich dabei als eine Art des ‚thinking-through-practice‘ (Burdick et al. 2012, S. 13), in dem kreative Praktiken des Tool-Designs ins Zentrum wissenschaftlichen Handelns rücken.

In seiner bereits erwähnten Schrift *Die Suche nach Gewissheit* skizziert John DEWEY (1998) wissenschaftliches Forschen vor allem als ein *Rearrangieren* und *Neu-in-Beziehung-Setzen* von Materialien, das dadurch möglich wird, dass Erkenntnisobjekte (in der

Natur) in numerisches und metrisches Datenmaterial überführt werden (vgl. Abschnitt 4.2). DEWEY beschreibt experimentelles Forschen auch als ein Vorgehen, das durch die „Ausführung von Operationen des Schneidens, Abtrennens, Aufteilens, Ausdehnens, Zusammenstückelns, Verbindens, Versammelns und Vermischens, Aufhäufens und Austeilens“ erfolgt (Dewey 1998, S. 158). Das Rearrangieren von Materialien, das aufgrund der Überführung wissenschaftlicher Gegenstände in *Informationstrukturen* (vgl. Abschnitte 3.2 und 5.1.1) möglich wird, kann im Zusammenhang des von STALDER beschriebenen Prinzips der *Referentialität* (Stalder 2017, S. 96–128) bzw. von MANOVICH beschriebenen Prinzips der *remixability* (vgl. Manovich 2013, S. 46; vgl. auch Navas/Gallagher/Burrough 2015) auch als spezifisch digitaltechnische Erkenntnisform in einer *Kultur der Digitalität* gedeutet werden. Aufgrund ihrer generischen, standardisierten materiellen Basis – dem digitalen Code – ist ein Rearrangieren und Neuperspektivieren des Ausgangsmaterials innerhalb digitaltechnischer Strukturen dabei meist schon mit einfachen technischen Mitteln möglich, so beispielsweise mit teils frei verfügbarer Software und Apps.⁸⁴ Digitale Technik – und das soll in den nun folgenden Abschnitten noch genauer erörtert werden – ermöglicht die von DEWEY gemeinte rekontextualisierende Art des „experimentellen Spielens mit Dingen“ (Dewey 1998, S. 90). Wie erwähnt, bildet zugleich das „Sichtbarmachen von Strukturen und Prozessen, die sich nicht von sich aus dem Auge darbieten [...], den Grundgestus der modernen Wissenschaften“ (Rheinberger 2007, S. 117; vgl. auch Nassehi 2019), der sich auch in einer Wissenschaft im digitalen Wandel fortsetzt. Dass dieses Erkennen von Strukturen, Mustern und noch Unerkanntem kein einfaches Sichtbarmachen eines noch Verborgenen ist, sondern ein kreativer, transformativer Prozess und dass Wissenschaffende sich in diesem Prozess die Performativität digitaler Technik zunutze machen, bildet in Verbindung mit dem spielerischen, tentativen und rekontextualisierenden Charakter digitaltechnikbasierter Erkenntnispraktiken Fokus und gemeinsames Motiv der folgenden Abschnitte.

5.2.2 Vom Datum zum Muster

Die digitaltechnikbasierte Mustererkennung kann als Verfahren der Identifikation wiederkehrender Formen oder Strukturen in einem Untersuchungsgegenstand gelten, die u. a. visueller, konzeptueller, mathematischer oder logischer Natur sein können – vorausgesetzt ein Computersystem wurde daraufhin programmiert, solche Formen in Datensets

⁸⁴ Um das Tentative digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit zu erkennen muss man nicht in die Tiefen naturwissenschaftlicher Erkenntnispraktiken im Rahmen von Hochleistungsrechenstrukturen oder in die erwähnte Methodendiskussion der Digital Humanities eintauchen. Bereits das wissenschaftliche Schreiben, wie ich es in etwa mit dieser Dissertation vornehme, wäre – zumindest mir – in der Form ohne Computer und Textverarbeitungsprogramm nicht möglich. Das Schreiben, Formatieren, Löschen, Neuschreiben, Verschieben, Neuzusammensetzen und damit Neuperspektivieren von Gedanken wäre handschriftlich in der Form so kompliziert, dass ich es wahrscheinlich gar nicht erst in Angriff nehmen würde. Damit bringe ich zugleich meine große Bewunderung für die Denkerinnen und Denker zum Ausdruck, die vor der Erfindung des Computers und von Textverarbeitungsprogrammen ihre großen Werke handschriftlich verfasst haben.

entdecken zu können (vgl. Berry 2015, S. 126) oder aber technische Systeme wurden so eingerichtet, dass sie Programmstrukturen zur Entdeckung von Mustern in Daten eigenständig entwickeln können, wie im Rahmen von Machine-Learning-Verfahren der Fall.

Im Kontext der Debatte um die Transformationspotentiale digitaltechnikbasierter Mustererkennungsverfahren in den Wissenschaften stellt der in den Digital Humanities aktive Wissenschaftler Rob KITCHIN, die Frage, inwieweit diese zu einem disziplinübergreifenden Paradigmenwechsel führen, der u. a. auch ein neues Verständnis von *Empirie* etabliert (vgl. Kitchin 2014a, S. 1; vgl. auch boyd/Crawford 2013; Mayer-Schönberger/Cukier 2013; vgl. auch Abschnitt 2.1). Der Autor knüpft dabei an die Behauptung an, die neuen datengetriebenen und korrelationsbasierten Analyseverfahren leiteten eine neue Ära des *Emprismus* ein, die es Daten schließlich erlaube “to speak for themselves free of theory” (Kitchin 2014a, S. 3). Dahinter steht die Vorstellung, dass sich in umfänglichen Datensets auf diese Art Muster herauskristallisieren, die es erlauben, *ohne weitere Experimentation* bzw. Befragung Schlüsse aus ihnen zu ziehen (vgl. ebd., S. 4), so zumindest suggeriert es die bereits erwähnte These Chris ANDERSONS vom „Ende der Theorie“ (Anderson 2008, o. S.; Übers. OM). ANDERSONS Behauptung, „correlation“ sei genug (ebd., o. S.), bedeutet aber KITCHIN zufolge, dass jeder vernunftbegabte Mensch, der – gegebenenfalls über Visualisierungstechniken gestützt – Statistiken ‚lesen‘ kann, in der Lage sein müsste, solche Muster in den Resultaten ohne weiteres domänenspezifisches Wissen zu interpretieren (vgl. Kitchin 2014a, S. 5). Gegen die Auffassung spricht aber, dass auch im Rahmen von Big-Data-Analysen weder die Genese noch die Interpretation der dabei verarbeiteten Daten im theorieleeren Raum erfolgt, sondern spätestens an der Schnittstelle zum Menschen – also da, wo computergenerierte Resultate mit Bedeutung versehen werden – stets auch einem ‚human bias or framing‘ (ebd., S. 5) unterliegen. Nur durch diese niemals kontextfreie Bedeutungszuschreibung durch den Menschen kann überhaupt menschliches *Wissen* entstehen. Geht es also um menschliches Wissen, bleibt die Interpretation und Angeignung jenes errechneten Outputs nach wie vor zentraler Teil des Wissensprozesses. Dennoch – so stellt der Philosoph David WEINBERGER fest – erscheint der im Zusammenhang der „Ende der Theorie“- und „Correlation is enough“-Debatte stehende akademische ‚Aufschrei‘ (vgl. u. a. Pigliucci 2009) aus heutiger Sicht nahezu ‚kauzig‘ (Weinberger 2017, o. S.; Übers. OM), denn längst haben sich Hochleistungsrechenstrukturen dergestalt verselbstständigt, dass sie Daten kategorisieren und Muster generieren können, ohne noch auf vorab generierte kausallogische *Modelle* zurückgreifen zu müssen. Die von den Rechnern in Machine-Learning-Verfahren selbst entwickelten Modelle basieren dabei auch nicht immer auf ‚menschlichen‘ Logiken der Modellbildung (vgl. ebd., o. S.), was die soeben postulierte Notwendigkeit menschlicher Interpretation maschinell erzeugter Resultate erheblich erschwert.

Gleichsam ist die der These vom „Ende der Theorie“ unterliegende Vorstellung einer induktiven Wissenschaft gar nicht neu, bemerken Gabriele GRAMESLBERGER und Matthiass MÜLLER, sondern bildet vielmehr den „Kern der wissenschaftlichen Revolution der Neuzeit“ (Gramelsberger/Müller 2018, S. 758). Doch, so argumentieren die Autorin und der Autor, „irgendetwas scheint fundamental anders an der digitalen Induktion

zu sein“ (ebd., S. 758). Dafür seien nicht nur die ständig wachsenden, etwa auch durch Sensorisierung der Umwelt entstehenden, Datenmengen verantwortlich, sondern auch die mit ihrer Auswertung zusammenhängenden *Analyseverfahren*. So gründen Analyseverfahren im Rahmen der sogenannten Großdatenforschung bzw. Big-Data-Science immer weniger auf klassischen, symbolverarbeitenden Rechenverfahren, sondern auf den Verfahren von „Vergleich, Klassifikation und Optimierung“ bzw. maschinellem Lernen (ebd., S. 759).

Big Data

Der Entwicklung computerbasierter Mustererkennungsverfahren widmet sich u. a. eine Forschungsdomäne, die als Datenwissenschaften bzw. Data Sciences bezeichnet wird (vgl. Kelleher/Tierney 2018, S. ix) und dabei mitunter auch als neue „Leitwissenschaft“ (Rath 2019a) popularisiert wird. Matthias RATH zufolge begründen die Data Sciences allerdings weniger eine neue „Leitwissenschaft“ als vielmehr eine *methodische „Revolution“*, die in dem Bestreben einer „digitalen Quantifizierung“ der Welt begründet liegt sowie dem damit einhergehenden Anspruch, „Aussagen über die Welt auf ihre Verrechenbarkeit hin“ vereinheitlichen zu können (ebd., S. 29 und 33; H. i. O.).

Im Kontext von Data Sciences werden Prinzipien, Problemdefinitionen, Algorithmen und Möglichkeiten des Entdeckens für das menschliche Auge nicht offensichtlicher Muster in großen Datenmengen entwickelt. Sie stehen zugleich in enger Verbindung mit den Feldern des *Data Minings* und des *Machine Learnings*, bezeichnen jedoch eher im übergreifenden Sinne die mit diesen Verfahren verbundenen Erkenntnispraktiken und Strategien der Wissensgenese (vgl. Kelleher/Tierney 2018, S. ix). Der Terminus Data Science bzw. Datenwissenschaft trägt dabei der Tatsache Rechnung, dass die computerbasierte Mustererkennung nur im Zusammenhang mit der Sammlung und computertauglichen Aufbereitung (großer Mengen) digitaler Daten zu denken ist. Daher findet die Diskussion um Mustererkennungsverfahren in der Regel auch immer in Verbindung mit der Diskussion des *Datenbegriffs* statt. Ihren prominentesten Ausdruck erfährt die Diskussion um die Relation von Daten und Mustererkennung in den Debatten um *Big Data* (vgl. u. a. Geiselberger/Moorstedt 2013; Iske et al. 2020; Kolany-Raiser 2018; Mayer-Schönberger/Cukier 2013; Reichert 2014a; Wiegerling/Nerurkar/Wadephul 2020).

Der Terminus Big Data wird dabei nicht einhellig verwendet, als Sammelbegriff kann Big Data jedoch „bei aller Vagheit“ insofern als „*Inbegriff*“ (Wadephul 2016, S. 36; H. i. O.) gelten, als dass er dazu dient, „computertechnologische Phänomene höherstufig unter dem Aspekt der Analyse von großen, dynamischen und heterogenen Datenströmen diskutieren zu können“ (ebd., S. 36). In erster Annäherung können die mit Big Data einhergehenden Verarbeitungsprozesse durch die Eigenschaften *Volume*, *Velocity*, *Variety* und *Veracity* (4V) konturiert werden. Auf dieser Grundlage grenzen GRANSCHE ET AL. Big Data-Analysen auf solche Verfahren ein, in denen die „Verarbeitung von 4V-Daten durch autonome, autoadaptive Algorithmen“ erfolgt, und zwar so, „dass gewisse Daten so erstmals zugänglich gemacht werden“. Resultate aus solchen Big-Data-Systemen sind dabei weder ohne jene Systeme zu erlangen, noch sind sie ohne algorithmische Unterstützung überprüfbar (Gransche et al. 2014, S. 137 f.; H. i. O.).

Danah BOYD und Kate CRAWFORD deuten Big Data dagegen etwas allgemeiner als *synthetische* Form der Informationsverarbeitung, in der es weniger um den Umfang der ‚großen‘ Datenmengen selbst gehe, sondern um die generelle Fähigkeit, „Daten zu analysieren, zu aggregieren und Querverbindungen herzustellen“ (boyd/Crawford 2013, S. 188). Aus Sicht der Technikphilosophie besteht der Kern von auf Big Data basierenden Erkenntnispraktiken darin, dass „Mustererkennungen, Datenverknüpfungen, Informationskorrelationen und Strukturvorschläge möglich werden, die vom Menschen [...] nie, nicht einmal mit extrem hohem Zeit-, Kosten- und Personenaufwand gefunden werden könnten“ (Gransche et al. 2014, S. 37). Genau diese *synthetische Produktivität* von Big-Data-Verfahren, die über menschliches Vermögen und Verstehen hinaus geht, ist es, die in erster Annäherung die generative, transformative Dimension digitaltechnischer Verfahren der Mustererkennung ausmacht. Jedoch besteht im Rahmen der algorithmischen Analyse großer Datenmengen mitunter das Problem, dass die aufgezeigten Korrelationen nur „Scheinkorrelation“ (Gelfert 2022, S. 37) darstellen können, dabei also Muster geltend gemacht werden, „wo gar keine existieren“ (boyd/Crawford 2013, S. 198). Andererseits liegt aber gerade in den menschlich nicht immer nachvollziehbaren algorithmischen Mustererkennungsprozessen auch ein *kreatives Potential*, das Hinweise auf neue, bisher noch nicht einsichtige Perspektiven geben kann, wie beispielsweise in jüngster Zeit im Kontext des Proteindesigns diskutiert wird (vgl. Wang et al. 2022; vgl. Abschnitt 5.2.4).

Während die durch die “Correlation is enough”-Debatte inspirierte, einseitige Auffassung der Potentiale der Großdatenforschung vor allem außerhalb der tradierten akademischen Wissenschaften und in Unternehmenszusammenhängen aufgegriffen wurde, so gibt es durchaus Versuche, datenintensives Forschen *innerhalb* der traditionellen disziplinären Forschung als “reconfigured version of the traditional scientific method” (Kitchin 2014a, S. 6) weiterzuentwickeln. Verstanden wird datenintensives Forschen in diesem Zusammenhang weniger als technisch automatisierbare Möglichkeit hypothesesprüfender Verfahren, sondern als Potential für die Genese *neuer Hypothesen* (vgl. ebd., S. 5–7). Insgesamt deutlich mit Blick auf Big Data wird aber, dass weder die Ausklammerung des Menschen aus den digitaltechnikbasierten Mustererkennungsverfahren („Daten sprechen für sich selbst“) noch die Ausklammerung technischer Systeme aus der Analyse menschlich nicht zu bewältigender Datenmengen angesichts epistemischer Herausforderungen in zahlreichen Forschungszweigen, wie der Klimaforschung, Genforschung, Kernforschung, Medizin und Astrophysik, überzeugende Perspektiven auf eine Wissenschaft im digitalen Wandel darstellen. Zu klären ist vielmehr das spezifische Wechselverhältnis und Beziehungsgeflecht zwischen Wissenschaftlern und Technik, das u. a. Werner RAMMERT und Ingo SCHULZ-SCHAEFFER als eines der *verteilten Handlungsträgerschaft* dargestellt haben (vgl. Rammert/Schulz-Schaeffer 2002b; vgl. auch Abschnitt 2.1). Im Vordergrund steht dabei die Frage, wie algorithmische Analyseprozesse sich als eine Art technisch erweiterter *Inspirationsraum* für menschliches Räsonnieren und Abduzieren ausschöpfen lässt, was im Folgenden im Zusammenhang von Verfahren des maschinellen Lernens erörtert wird.

Klassifikation und Exploration – Möglichkeiten algorithmenbasierter Erkenntnisarbeit

Im Rahmen der Digital Humanities machen sich selbst die Geisteswissenschaften die Verfahren maschinellen Lernens längst zu nutze, so beispielsweise für die automatische *Klassifizierung* von Kunstwerken oder im Rahmen *stilometrischer* Analysen zur quantitativen Erhebung stilistischer Merkmale in Texten, aber auch bei der *Optical Character Recognition* im Kontext der Volltextdigitalisierung sowie im Rahmen der Nutzung von *Natural Language Processing* in der Textanalyse (vgl. u. a. Schöch 2017, S. 289–298). Diese Verfahren basieren im Wesentlichen auf algorithmischen Autoadaptionsprozessen (vgl. Harrach 2014), die zum einen darauf abzielen, Datenbestände zu *klassifizieren*, zum anderen aber auch darauf, neue Muster und Strukturen in Daten zu *explorieren*. Aus Sicht der dabei stattfindenden algorithmischen ‚Lernprozesse‘ lassen sich die Verfahren grob in solche des *überwachten* und solche des *unüberwachten* Lernens bzw. nach HARRACH in *zielorientierte* oder *ergebnisoffene* („neugierige“) Autoadaptionsprozesse differenzieren (Harrach 2014, S. 29). Autoadaptionsprozesse unterscheiden sich dabei im Grad der Explizierung und Bestimmung, die das algorithmische System vorab benötigt, um ein Modell errechnen zu können (vgl. Abschnitt 3.3).

Beim überwachten Lernen soll der lernende Algorithmus aus einer Menge von Beispielen einen Zusammenhang „zwischen den Eigenschaften der Beispiele und den Klassen, denen die Beispiele zugehörig sind [...] erkennen“ (Schöch 2017, S. 289). SCHÖCH erläutert das mit einem Beispiel aus der Kunstgeschichte, in dem Gemälde gemäß ihren Farbprofilen einer bestimmten Epoche zugeordnet werden sollen. Hier sind die Merkmalseigenschaften der Gemälde sowie die möglichen Klassen (sprich: Epochen), denen diese zugeteilt werden können, bereits vorgegeben. Algorithmen ‚lernen‘ dann zunächst aus Beispielen, für die sowohl „Merkmale“ als auch Zuordnungen dieser Merkmale zu einer „Klassenzugehörigkeit“ bereits bekannt sind. Ziel des Lernprozesses ist es, den „Zusammenhang zwischen bestimmten Merkmalsausprägungen [...] und der Klassenzugehörigkeit“ zu ermitteln (ebd., S. 289), so dass daraufhin auch noch nicht klassifizierte Gemälde anhand der algorithmischen Analyse der Farbprofile einer entsprechenden Epoche zugeordnet werden können. Die Zusammenhänge zwischen Merkmalen und Klassen können dabei u. a. als Regelsystem modelliert sein, zum Beispiel „wenn die Merkmale A und B vorhanden sind, dann gehört das Objekt zu Klasse 2“. Oder sie sind im Sinne eines Wahrscheinlichkeitssystems modelliert, wie zum Beispiel: „je stärker Merkmal A ausgeprägt ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Objekt zu Klasse 2 gehört“ (Schöch 2017, S. 289). Zentrales Charakteristikum des überwachten Lernens ist, dass dieses auf drei voneinander unabhängigen Verfahren der Datenverarbeitung basiert, in denen Lernphase, Evaluationsphase und Anwendungsphase jeweils voneinander getrennte Vorgänge bilden. Das äußert sich u. a. dadurch, dass bei den verwendeten Daten auch nominal zwischen Trainings-, Evaluations- und Anwendungsdaten unterschieden wird (vgl. Schöch 2017, S. 289).

Beim *unüberwachten Lernen* findet dagegen keine Trennung zwischen Lernphasen und Datensätzen statt, sondern das Verfahren operiert auf Grundlage eines einzigen Datensatzes. Außerdem werden hier keine Klassen und damit kaum Vorstrukturierungen vorgege-

ben. Vielmehr ist es Ziel des unüberwachten Lernens, „Regelmäßigkeiten, Korrelationen und andere Zusammenhänge zwischen den Merkmalen für die Bildung von möglichst gut abgegrenzten Gruppen innerhalb der Daten zu nutzen“. Dabei ermittelt das System keinen Zusammenhang zwischen Merkmalen und Klassen, sondern gruppiert die Untersuchungsgegenstände, die sich „untereinander möglichst ähnlich“ sind, die jedoch als Gruppe „von anderen Gruppen möglichst unterschiedlich sind“ (Schöch 2017, S. 289 f.). Ziel des Lernvorgangs ist es, *Cluster* zu bilden und voneinander zu unterscheiden, „ohne diese Cluster aber mit vorgegebenen Klassenlabels zu versehen“. Im Kontext der wissenschaftlichen Erkenntnisarbeit wäre an diesem Punkt der Einsprungspunkt für die Interpretation durch die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, deren Aufgabe es ist, festzustellen, „worin sich die Kohärenz der Cluster inhaltlich begründet“ (ebd., S. 290), die Interpretation der *algorithmischen Struktuvorschläge* (vgl. auch Harrach 2014) obliegt also hier den Forschenden. Als Beispiel für unüberwachtes und entsprechend ergebnisoffenes Lernen könnte im Rahmen der Digital Humanities die *stilometrische Clusterbildung* im Rahmen der Textanalyse gelten. Stilometrische Verfahren basieren auf der algorithmischen Auswertung von Worthäufigkeiten, auf deren Grundlage dann „Texte mit ähnlichem Wortgebrauch nach statistischen Verfahren“ gruppiert werden (Viehhauser 2015, o. S.).

In den oben genannten Beispielen diente maschinelles Lernen dazu, Datensätze entweder zu *klassifizieren* oder auf Grundlage von Ähnlichkeiten zu *clustern* (vgl. Schöch 2017, S. 290). Sie zeigen auf, inwiefern algorithmenbasierte Erkenntnisarbeit sowohl einen *subsumtionslogischen* (deduktiven, stärker vorstrukturierten) als auch einen *explorativen* (offenen, kaum vorstrukturierten) Modus der Welterschließung ermöglicht. Der Grad der Vorstrukturierung des algorithmischen Systems entscheidet zudem darüber, wie genau Prozesse der Erkenntnisarbeit zwischen Mensch und technischem System verteilt werden (vgl. Abschnitt 2.1): Bei zielorientierten Systemen ist es das menschliche Erkenntnissubjekt, das über starke Vorgaben das technische System soweit ‚zurichtet‘, dass es im Kontext festgelegter Zuordnungsregeln weitere Zuordnungen vornehmen kann. Im Kontext ergebnisoffener Systeme sind menschliche Erkenntnissubjekte in geringerem Maße an der entsprechenden ‚Zurichtung‘ des Systems beteiligt, sind jedoch bei den Resultaten und Struktuvorschlägen dieser ergebnisoffenen Prozesse verstärkt als Interpretationsinstanzen gefragt. In den folgenden Ausführungen wird dabei deutlich, dass jenseits der Entlastungsfunktion algorithmischen Prozessierens bei der Analyse großer Datenmengen insbesondere die *ergebnisoffenen* algorithmischen Analysen für Forschende von Interesse sein können, insofern sie diesen als *Abduktionsanlässe* dienen können.

WADEPUHL fragt in diesem Zusammenhang, ob gerade der Rückgriff auf das maschinelle Lernen zu einer „abduktiven Wende in den Wissenschaften“ führe (Wadephul 2016, S. 35), denn weder rein subsumptionslogische (deduktive) Ansätze noch ausschließlich induktive Strategien der Wissensgenese scheinen das adäquat zu erfassen, was innerhalb algorithmisch formierter Erkenntnisprozesse, wie beispielsweise im Kontext von Big-Data-Analysen, geschieht. Christoph HUBIG markiert Abduktionen als Welterschließungsmodus, der ohnehin *jedem* wissenschaftlichen Erkenntnisprozess zugrunde liegt,

gleich welchem epistemischen, forschungslogischen oder disziplinären Kontext er zuzuordnen ist. Begründet werden kann dies damit, dass prinzipiell jeder Akt der Wahrnehmung strukturell als Abduktion gelten kann (vgl. Hubig 1991, S. 161), insofern Abduktionen als das „implizite Voraussetzen von Regeln“ (ebd., S. 157) bzw. als „theoriegeladene [...] Wahrnehmung“ (ebd., S. 163) zu verstehen sind. Jo REICHERTZ zufolge handelt es sich bei Abduktionen um eine besondere Form der Welterschließung, die sicheres Wissen nicht aufgrund ihrer Vorhersagekraft produziert (Deduktion) oder Einzelfälle zu einer sich zu Gewissheit ‚aufsummierenden‘ Regel vereint (Induktion). Vielmehr beseitigt Abduktion Ungewissheit dadurch, dass sie eine Regel vorschlägt, die „würde sie zutreffen, was gewissenhaft zu prüfen ist [...] neue Gewissheit schafft“ (Reichertz 2003, S. 57). Die Idee der Abduktion beruht maßgeblich auch auf der von Charles Sanders PEIRCE entworfenen Konzeption. PEIRCE hatte die Abduktion gegenüber der Induktion und Deduktion als einzige logische Operation bezeichnet, die irgendeine neue Idee einführt (vgl. Peirce 1960a, 5.171, S. 106). Dabei dient abduktives Schließen dazu, „sich plausible Theorien vorzustellen und neue Theorien zu erfinden“ (Wirth 2003, S. 594). Abduktionen bilden für PEIRCE daher den Einstieg *in jeden* Forschungs- bzw. Erkenntnisprozess. Ausgelöst werden abduktive Schlüsse durch einen *Überraschungsmoment*: “The surprising fact, C, is observed; But if A were true, C would be a matter of course, Hence, there is reason to suspect that A is true” (Peirce 1960a, 5.189, S. 117). Abduktionsanlässe – hier als überraschend auftauchende Tatsachen zu verstehen – führen zur Gense des Vermutungen, die, wären sie wahr, die überraschenden Tatsachen erklären könnten. PEIRCE beschreibt die Entstehung einer solchen abduktiven Vermutung auch als Resultat eines blitzartigen Einfalls (vgl. Peirce 1960a, 5.181, S. 113). Dieser Gedankenblitz evoziert ein “putting together what we had never before dreamed of putting together” (ebd., 5.181, S. 113). Die einzelnen Komponenten der Hypothese existierten zwar bereits im Denken der oder des Forschenden, der von PEIRCE beschriebene Gedankenblitz führt nun aber zur Idee, diese zusammenzufügen. Hier zeigen sich Abduktionen – genauso wie der *Witz* – als „rekontextualisierende Operationen“ der Phantasie“, denn beide beruhen auf „der nicht zu sättigenden Möglichkeit, Gedanken-Zeichen aus Kontexten“ zu entfernen und in neue Kontexte zu stellen (Wirth 2003, S. 609).

Uwe WIRTH hatte bereits im Jahr 1995 das logische Schlussverfahren der Abduktion im Zusammenhang der KI-Forschung in den Blick genommen und behauptet, dass der Versuch, menschliche Denkprozesse „in Analogie zum Verarbeitungsprozeß (sic!) des Computers zu setzen, [...] fast zwangsläufig zu der Frage nach der möglichen Funktion der Abduktion innerhalb automatischer Informationsverarbeitung“ (Wirth 1995, S. 418) führe. Der Abduktion wird dabei die Eigenschaft zugeschrieben, subjektive menschliche Denkprozesse am treffendsten zu repräsentieren, denn sie markiert die menschliche Fähigkeit, Wissen flexibel auf die unterschiedlichsten Probleme aus einem Kontext in einen anderen überführen und dabei auch mit Vagheit und Unsicherheit umgehen zu können (ebd., S. 418 f.). Im Unterschied zum menschlichen Denken können aber klassische, auf linearen Wenn-Dann-Logiken und symbolischer Verarbeitung basierende technische Systeme „das gespeicherte Weltwissen nicht selber denotativ interpretieren“ und sind

auch nicht zur „Selbstkorrektur“ fähig. Abduktive, und damit ‚menschenähnlich‘ operierende technische Systeme, müssten – aus WIRTHS damaliger Sicht – in der Art entwickelt werden, dass es diesen möglich sei, eine „eigene Semantik“ hervorzubringen, dabei „flexibel“ zu sein und aus eigenen Fehlern lernen zu können, „assoziative und kreative Prozesse“ vollziehen zu können und schließlich auch mit „unsicherer Information umgehen“ zu können (ebd., S. 419) – ganz so, wie es heute im Kontext des maschinellen Lernens, konnektionistischer und subsymbolisch arbeitender technischer Systeme und insbesondere im Kontext Künstlicher Neuronaler Netze zunehmend realisierbar zu werden scheint.

WADEPHUL wirft in diesem Zusammenhang allerdings das Problem der mangelnden Überprüfbarkeit maschineller Strukturvorschläge auf, zumal es sich bei Autoadaptionsprozessen um rekursive Prozesse handelt, bei denen „neuartige Strukturvorschläge ermöglicht werden, indem in weiteren, höherstufigen Wiederholungen die so hergestellten Muster in den Analyseprozess integriert und schließlich immer stabilere Ergebnisse erzeugt werden“ (Wadephul 2016, S. 45). Mittels des Falsifizierbarkeitsschemas kann dabei gerade bei Big-Data-Analysen selten über die Güte der Ergebnisse entschieden werden, eine Tatsache, die das grundsätzliche „Rechtfertigungsproblem jeglicher Abduktion“ (ebd., S. 45) betrifft. Denn einerseits liefern Abduktionen „plausible Erklärungen für anderweitig Unerklärbares“, ohne für diese aber Rechtfertigungen mitzuliefern. Andererseits muss den algorithmischen Verarbeitungsprozessen dennoch eine gewisse „Form der Rationalität unterstellt werden“ (ebd., S. 45), aus der heraus die generierten Strukturvorschläge resultieren. Hier ergibt sich, so argumentiert WADEPHUL mit WIRTH, auch das grundsätzliche Problem der KI-Forschung, „sich mit dem ‚abduktiven Zirkel‘, der die Reformulierung des hermeneutischen ist, auseinanderzusetzen“ (Wirth 1995, S. 419).

HARRACH dagegen argumentiert, dass auch bei der Rede von der Abduktion im Zusammenhang maschinell lernender technischer Systeme sichergestellt werden müsse, „Artefakten [nicht] implizit menschliches Verhalten zu unterstellen“ (Harrach 2014, S. 303 f.). So können zwar vom technischen System gemachte Strukturvorschläge für Menschen zum Interpretationsanlass werden, dies dürfe aber nicht dazu verleiten, den noch nicht interpretierten Strukturvorschlag des technischen Systems selbst als Ergebnis eines logischen Schlussverfahrens zu betrachten (vgl. ebd., S. 304). Machine-Learning-Prozesse lassen sich vielmehr nur im Wechselverhältnis mit menschlicher Interpretation „produktiv“ als Abduktionen beschreiben (ebd., S. 304). Erschwert wird eine solche Perspektive aber durch die Fehlannahme, es handle sich bei Techniken des maschinellen Lernens um solche, die „selbsttätig Muster in Daten erkennen und daraus, unabhängig von menschlichen Einflüssen, Konzepte oder Modelle erstellen beziehungsweise diese Modelle eigenständig in den Rohdaten entdecken“ (ebd., S. 16; vgl. auch Wadephul 2016, S. 47) und daher der menschlichen Interpretation nicht mehr bedürfen.

Betrachtet man algorithmenbasierte Big-Data-Analysen oder den Einsatz von Machine-Learning-Systemen in solchen Analysen allerdings nicht als Vorgänge, die eigenständige Abduktionen der technischen Systeme darstellen, sondern als solche *verteilter Handlungsträgerschaft* (vgl. Rammert/Schulz-Schaeffer 2002b) bzw. „verteilter Erkenntnisarbeit“, so lassen sich die technischen Verarbeitungsprozesse und deren Ergebnisse viel-

mehr als Abduktionsanlässe produktiv für die Genese neuen Wissens einsetzen. Insbesondere die von HARRACH als „neugierig“ markierten Autoadoptionsprozesse können dabei unterstützen, „Nichtwissensbereiche höherstufig zugänglich zu machen“, das heißt also Datenmengen durch entsprechende Strukturvorschläge in eine höherstufige Strukturebene zu überführen. Dies bedeutet HARRACH zufolge jedoch nicht, dass dadurch „Nichtwissensbestände“ aufgelöst werden, sondern vielmehr dass die durch algorithmische Prozesse *höherstufig strukturierten* Datenbestände Wissenschaffenden in einer neuen Form „zur Interpretation präsentiert werden“ können, darunter fallen beispielsweise Clusteranalysen von Daten „in einem vormals ungreifbaren Datenmeer“ (Harrach 2014, S. 282). Beispiele für solch eine höherstufigere Zugänglichmachung unstrukturierter Datenbestände, die für sich genommen noch kein Wissen produzieren, menschlichen Wissenschaffenden jedoch höherstufige Interpretationsgrundlagen liefern, werden, u. a., in den folgenden Abschnitten 5.2.3 sowie 5.2.4 gegeben. Dabei wird auch nochmals auf die Bedeutung der Abduktion im Kontext erkenntnisweiternder Mensch-Technik-Interaktionen eingegangen, hier insbesondere darauf, inwiefern diese Forschenden dazu verhelfen, Daten zu rekontextualisieren und damit neue Perspektiven auf diese zu gewinnen. Solche rekontextualisierenden Verfahren der *Mustererkennung* können dabei gerade auch in den Sozial- und Geisteswissenschaften neue Perspektiven eröffnen, wie im folgenden Abschnitt anhand von Beispielen gezeigt wird. Im Fokus steht dabei erneut QDA-Software als softwaretechnische Möglichkeit der Rekontextualisierung unstrukturierter Daten und der Kategorienbildung. Aber auch Formen des ‚numerischen Lesens‘ in den Geisteswissenschaften werden in den Blick genommen.

5.2.3 Vom Datum zum ‚Sinn‘

Es mag kontraintuitiv erscheinen, Erkenntnispraktiken der Mustererkennung nun ausgegerechnet auch im Bereich der Geistes- und Sozialwissenschaften nachspüren zu wollen, gelten doch vor allem statistische, auch auf Machine-Learning-Verfahren basierende, Methoden der quantitativen, numerischen Auswertung von Daten, wie sie vor allem im Feld der Data Sciences bzw. im Rahmen von Big-Data-Analysen und der naturwissenschaftlichen Computersimulation zu finden sind, als Beispiele par excellence für Verfahren der Mustererkennung. Betrachtet man aber sowohl das geisteswissenschaftliche als auch das qualitative Forschen in den Sozialwissenschaften als eine Form der Erkenntnisarbeit, deren Ziel darin besteht, in größtenteils unstrukturierten Materialien und Dokumentationen *sinnhafte Strukturen* zu ‚entdecken‘ und diese interpretierend zu ordnen, dann können auch Erkenntnispraktiken der Geisteswissenschaften und qualitativ orientierten Sozialwissenschaften in einem weiten Sinne als Formen der ‚Mustererkennung‘ verstanden werden. Im Hinblick auf den digitalen Wandel in den Wissenschaften führt das allerdings zur Frage nach möglichen Synergien sowie Reibungspunkten zwischen den numerischen, quantitativen Formen der Mustererkennung, die mittels digitaltechnischer Verarbeitungsverfahren möglich sind, und den genuin qualitativen sowie hermeneutisch geprägten Formen des Erkennens von Mustern und Zusammenhängen in unstrukturierten

Daten. Inwiefern ergänzen und erweitern digitale Techniken Prozesse der ‚Mustererkennung‘ innerhalb qualitativer Erkenntnisparadigmen, inwiefern schränken sie sie auch ein?

Qualitative Data Analysis Software als Experimentalraum für qualitatives Forschen

Im Folgenden geht es zunächst beispielhaft um ‚Mustererkennung‘ im Rahmen der qualitativen Sozialforschung und in diesem Zusammenhang um die Frage, inwiefern digitale Softwarestrukturen wie QDAS neue Räume einer produktiven, generativen Mustererkennung ermöglichen. Hier geht es mir insbesondere um die Frage, in welcher Form Sinnstrukturen mittels Software sichtbar gemacht werden können und inwiefern diese erweiterte Perspektiven für die Interpretation von Daten erlauben. Dabei soll auch der Frage nachgegangen werden, inwiefern die Generizität dieser Softwarestrukturen – und damit nicht nur ihr Strukturierungspotential, sondern auch ihre interpretative Flexibilität – einer Generativität Vorschub leistet und damit zu produktiven Formen der Erkenntnisarbeit beitragen kann.

Die Bezeichnung „qualitative Daten“ ist eine aus den Sozialwissenschaften stammende Sammelbezeichnung für alle „nicht-numerischen, unstrukturierten Daten“ (Rädiker/Kuckartz 2019, S. 2). Ziel der Analyse qualitativer Datenmaterialien ist es, Beziehungen – im weitesten Sinne also Muster und Sinnstrukturen – im Forschungsmaterial zu identifizieren, zu vergleichen und diese zu interpretieren. Insbesondere in den Sozialwissenschaften und der empirischen Sozialforschung stellt im Kontext der Analyse narrativen, dialogischen Datenmaterials vor allem die *Inhaltsanalyse* eine populäre Analysemethode dar. Christina HERKOMMER bezeichnet die Inhaltsanalyse als Mittelweg zwischen hermeneutischen und quantitativ-statistischen Ansätzen der Texterschließung. Die auszuwertenden unstrukturierten Daten bestehen dabei in der Regel aus Transkripten von Interviews, Fokusgruppengesprächen und weiteren Textformaten, jedoch auch (Bewegt-) Bildmaterial kann Gegenstand von Inhaltsanalysen sein. Im Rahmen einer ‚qualitativen‘ Herangehensweise soll der analytische Zugang zum Datenmaterial mittels *Kategorienbildung* hergestellt werden, die hier als spezifisch *qualitative* Form der Mustererkennung gedeutet werden kann. Dabei lässt sich Kategorienbildung als eine interpretative Form der *Diskretisierung* und Strukturierung unstrukturierten Datenmaterials verstehen, denn Diskretisierungsprozesse bilden nicht nur die formale Grundlage für die Verarbeitungsprozesse durch den Computer, sondern können im Kontext der qualitativen Kategorienbildung auch darauf abzielen, *latente Sinnstrukturen* in Daten auf hermeneutischer Ebene voneinander zu unterscheiden (vgl. Herkommer 2012, S. 3–5).

Ziel der qualitativen Diskretisierungsarbeit im Rahmen von Kategorienbildung ist zunächst also nicht deren numerische Erfassung, sondern vielmehr die Erfassung von Unterschieden in Sinnstrukturen, das heißt in Rekurs auf BATESONS Informationsbegriff (vgl. Abschnitt 3.2.2) von Unterschieden, die hermeneutisch betrachtet einen *Unterschied machen*. Bereits an dieser Stelle sei erwähnt, dass gerade digitale Strukturen ein genuines Potential besitzen, solche Unterschiede zu prozessieren, da sie selbst auf einer auf Unterscheidungen basierenden Informationsstruktur aufsetzen (im weitesten Sinne in Form der Spannungsunterschiede 0 und 1). Werden nun interpretative Diskretisierungsvorgänge,

wie sie im Kontext der Kategorienbildung stattfinden, mithilfe von Software zur qualitativen Datenanalyse vorgenommen, so stellt sich die Frage, inwiefern die Nutzung von QDAS nicht lediglich einen konsequenten Schritt in der methodologischen Entwicklung qualitativer (Inhalts-)Analysen darstellt. Könnte demzufolge die Kategorienbildung ohnehin schon als eine genuin *digital definierte* Methode aufgefasst werden, da sie die Welt der kontinuierlichen Texte, Bilder, sprachlichen Äußerungen und Dialoge in diskrete, das heißt unterscheidbare, Kodes, Kategorien und Kategorienmodelle überführt? Und wäre es nicht konsequent anzunehmen, dass auch die Nutzung von QDAS hierfür einen geeigneten epistemischen Möglichkeitsraum zur Verfügung stellt, in dem technische Diskretisierungsprozesse erweiterte Perspektiven für den hermeneutischen Diskretisierungsprozessen eröffnen?

Dieser Frage wird im Folgenden im Hinblick auf *inhaltsanalytische* Vorgehensweisen der qualitativen Datenanalyse nachgegangen.⁸⁵ Inhaltsanalytisches Vorgehen wird dabei weitläufig gedacht und schließt sowohl explorative, induktive Kategorienbildungen im Sinne der *Grounded Theory Methodology* (GTM) als auch deduktive Vorgehensweisen im Sinne der von Philipp MAYRING (2022)⁸⁶ ausgearbeiteten Analyselogik ein. Das methodische Vorgehen kann an dieser Stelle und in der hier angestrebten Kürze nur exemplarisch und aus sehr hoher Flughöhe in den Blick genommen werden.⁸⁷ Es geht mir hier vor allem um die Frage nach Potentialen von QDAS für die produktive und damit *neue Perspektiven* generierende Erkenntnisarbeit. Dies führt im Hinblick auf die Kategorienbildung zu der Frage: Inwiefern ändern sich Prozesse der Kategorienbildung durch die digitale Softwar 技术 und was bedeutet dies für den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess?

⁸⁵ Dass qualitative Forschung bei Weitem nicht lediglich inhaltsanalytisch erfolgt, sei hier nochmals betont (vgl. hierzu die Diskussion in Abschnitt 5.1.5).

⁸⁶ Eine der prominentesten Ausprägungen der Inhaltsanalyse ist, wie erwähnt, das Modell von Philipp MAYRING (2022), das mit der Bezeichnung *Qualitative Inhaltsanalyse* inzwischen zum Pars pro toto inhaltsanalytischer Ansätze avancierte und auf eine „Methodik systematischer Interpretation“ (Mayring 2022, S. 49) abzielt. Das MAYRING'sche Verfahren unterscheidet sich gegenüber dem Ansatz der GTM vor allem darin, dass hier insbesondere das deduktive, theoriegeleitete Kodieren im Fokus steht: Die Analyse setzt ein bereits theoriebasiert entwickeltes Kategorienmodell voraus, anhand dessen das zu analysierende Datenmaterial kodiert wird. Abgesehen davon, dass im Verlauf der Analyse auch neue Kategorien (induktiv) entstehen können, ist trotz der schwerpunktmäßig deduktiven Ausrichtung auch im MAYRING'schen Ansatz eine „synthetische Kategorienkonstruktion“ möglich, bei der das Kategorienmodell erst das Resultat der Analyse darstellt (ebd., S. 50 f.). Demgegenüber steht das schwerpunktmäßig *explorative* Vorgehen im Sinne der *Grounded-Theory-Methodologie* (vgl. Glaser/Strauss 1998), bei der sich die Analyse qualitativer Daten gegenüber dem MAYRING'schen Vorgehen durch eine stärkere Offenheit unterscheidet. Ausgangspunkt der Analyse sind noch keine oder nur eingeschränkte Vorkategorisierungen, verfolgt wird vielmehr ein *offenes Kodieren* mit dem Ziel, Kategorien im Datenmaterial erst herauszuarbeiten (vgl. Herkommer 2012, S. 3 f.) und diese schließlich zu einer fundierten („grounded“) Theorie zu verdichten (vgl. auch Mey/Mruck 2011, S. 34 f.).

⁸⁷ Die inzwischen jahrzehntelange Methodendiskussion, wie sie im Hinblick auf Möglichkeiten der Kategorienbildung in der qualitativen Forschung von den bekanntesten Theoretikerinnen und Theoretikern wie Philipp MAYRING, Barney GLASER, Anselm STRAUSS oder Juliet CORBIN und in deren Nachfolge von zahlreichen weiteren Forschenden geführt wurde, muss hier außen vor bleiben.

Das Kodieren und die Kategorienbildung sind im Rahmen der qualitativen Analyseverfahren von zentraler Bedeutung, wenn auch zahlreiche Analyseansätze in der qualitativen Forschung existieren, die nicht schwerpunktmäßig auf Formen der Kategorienbildung gründen (vgl. Rädiker/Kuckartz 2019, S. 5). Zentrales methodisches Vorgehen im Kontext der beiden ‚großen‘ kategorienbildenden Analyseverfahren – der Qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2022) sowie der Grounded Theory Methodology (GTM) – ist die schrittweise *Reduktion der Komplexität* des Datenmaterials, indem dieses manuell bzw. mithilfe von Software kodiert wird (vgl. Herkommer 2012, S. 7). Während im systematischen Analyseprozess nach MAYRING Gütekriterien des Erkenntnisprozesses an die wissenschaftlichen Gütekriterien positivistischer Wissenschaftsauffassungen, wie Reliabilität und Validität, angelehnt werden (vgl. Mayring 2022, S. 118–124), so zeichnen sich Gütekriterien der explorativen Analysen im Sinne der Grounded Theory vor allem dadurch aus, dass Forschende ihre Vorgehensweisen offenlegen, ihr eigenes in die Analyse eingebrachtes Vorwissen reflektieren sowie ihre Forscherinnen- und Forscherposition kenntlich machen (vgl. Herkommer 2012, S. 6; vgl. Glaser/Strauss 1998, S. 227–254). Forschende, die qualitative Inhaltsanalysen durchführen, setzen aber in der Regel eher auf die *Kombination* deduktiv-systematischer und offen-explorativer Ansätze, insoweit es ihnen um die „Gegenstandsangemessenheit und die kreative Anwendung von Forschungsmethoden“ geht, und weniger darum, die eigene Analyse einer bestimmten „Schule“ zuordnen zu können (Herkommer 2012, S. 8).

Auch im Rahmen der meisten umfangreicheren Softwaretitel zur qualitativen Datenanalyse, wie *MAXQDA* und *Atlas.ti*, bildet die Kodierfunktion eine zentrale Funktion, mit der ausgewählten Datensegmenten, wie Wörtern oder Textpassagen, aber auch Bildausschnitten oder Videoszenen, sogenannte *Kodes*⁸⁸ zugeordnet werden können. Susanne FRIESE zeigt, dass die Verwendung der Termini *Kode* und *Kodierung* just aufgrund ihrer Prominenz in der GTM auch von fast allen Entwicklerinnen und Entwicklern von QDAS übernommen wurde (vgl. Friese 2016, S. 10). Gerade im Rahmen der Softwarenutzung könnte Kodieren aber mitunter als reines ‚Anheften‘ eines Labels an ein Datensegment missverstanden werden, was eher dem informationstechnischen Konzept des *Tagging* entspricht. Die Vorstellung vom Kodieren als Tagging könnte dabei einem reduktionistischen Verständnis des qualitativen Analyseprozesses Vorschub leisten – so eine häufig geäußerte Kritik (vgl. ebd., S. 10–11). Denn im Kontext der GTM wird unter Kodierung ein komplexer Prozess des mehrstufigen Zuordnens von Kodes sowie des konstanten Vergleichens jener Kodes und Zuordnungen verstanden, der auch stets durch einen Prozess der schriftlichen *Dokumentation* der Analyse in *Memos* und damit durch einen Selbstreflexionsprozess der Forschenden begleitet wird. Die Grundidee der Datenauswertung auf Grundlage der GTM besteht dabei darin, dass die mit dem Erkenntnisinteresse in Verbindung stehenden Datensammlungen, wie z. B. Feldnotizen, Interviews, Protokolle, Dokumente und Statistiken, jeweils mit passenden Begriffen (Kodes) versehen werden, die auf

⁸⁸ Wenn ich die Praktik des Kodierens in der qualitativen Analyse meine, schreibe ich *Kode* und *Kodierung* mit *K*, um diese von der programmiertechnischen Praxis des *Codieren* bzw. *Codens* zu unterscheiden.

ein den Daten unterliegendes Konzept verweisen – soweit deckt sich der Prozess noch mit dem des Tagging. Durch weitere Kodierarbeit, Vergleiche und den Einbezug weiterer Fälle sollen Kodes aber schließlich zu Kategorien verdichtet werden, an deren Ende eine Kernkategorie steht, die bestimmte Relationen zu anderen Kategorien aufweist und das untersuchte Phänomen bzw. Problemfeld am besten erklärt. Dieses „relationale Gefüge“ bildet schließlich u. a. die durch den Verdichtungsprozess der Kategorisierung herausgearbeitete *grounded theory* (Mey/Mruck 2011, S. 34 f.). Dabei lagen die Vorbehalte, die im Rahmen eines solchen komplexen Kodievorgangs gegenüber der Nutzung von QDAS bestanden, nicht nur in der Befürchtung einer verkürzten Sichtweise des Kodierprozesses, sondern schließlich in der Angst vor der Reduktion des *menschlichen* Beitrags zum Analyseprozess. Die Angst vor „Kurzschlüsse“ durch jene Systeme, die vermeintlich ohne die kreativen, nah am Text bleibenden Reflexionsprozesse der Forschenden beim Sortieren und Kombinieren von Memos im Rahmen der Theoriebildung auskommen, ließen u. a. Barney GLASER davon ausgehen, dass Software sich für die qualitative Datenanalyse und zur Durchführung der komplexen Kodierprozesse nicht eigne (vgl. Friese 2016, S. 7–8; Glaser/Holton 2004, S. 19).

Hauptkritikpunkt gegenüber der Nutzung von QDAS im Kontext der GTM war dabei, dass Forschende über die Nutzung des Programms „nicht dicht genug am Text arbeiten“ und so eine für den Verstehens- und Theoriebildungsprozess hinderliche Distanz aufbauen (Herkommer 2012, S. 10). Gegen die Distanzbehauptung spricht allerdings, dass die heute umfänglichen Softwarpakete beispielsweise das schriftliche Reflektieren in Form von *Memos* – eine zentrale Reflexionstechnik im Rahmen der GTM – neu dimensionieren. *Memos* explizieren Gedankenwege der oder des Forschenden und reflektieren so den „Weg zur Beantwortung der Forschungsfrage“ (Herkommer 2012, S. 15), aber auch die epistemische Positionierung der Forschenden sowie ihre Überlegungen zur Kategorienbildung. FRIESE zufolge übersah GLASER in seiner Kritik an QDAS die Möglichkeiten, die die Software gerade für die *Sichtbarmachung* der komplexen menschlichen Denk- und Reflexionsprozesse sowie für die kritische Selbstreflexion der Forschenden bietet (vgl. Friese 2016, S. 8). Insgesamt besteht der Vorteil der Software darin, dass sich schriftliche Reflexionen direkt an die Datensegmente heften und sich dabei auch mit anderen projektimmanenten sowie externen Datenmaterialien verlinken lassen. Da Memos digitaltechnisch mit den Datensegmenten verknüpft sind, besteht immer ein Zugang zu den zugehörigen Reflexionen und Kommentierungen der Forschenden (vgl. ebd., S. 8). Dabei können Memos, zum Beispiel in der Software MAXQDA,⁸⁹ nicht nur an Kodes, sondern auch an Textdokumente, Textsegmente, Bild-, Audio- und Videodateien geheftet werden (vgl. MAXQDA 2022b, S. 276). Mittels Dokument-Links ist es möglich, Memos nicht nur mit anderen Materialien, sondern auch mit weiteren Memos zu verlinken (vgl. ebd., S. 303). Geschaffen werden damit erweiterte Möglichkeiten der *Vernetzung* des Forschenden *mit* dem untersuchten Material sowie mit anderen erkenntnisweiternden

⁸⁹ Die in diesem Abschnitt betrachteten und analysierten Beispelfunktionen innerhalb von QDA-Software beziehen sich alle auf die Software MAXQDA (maxqda.com/de).

Bezügen. Diese Vernetzungsmöglichkeiten stehen der oben aufgeworfenen Distanzbauhauptung entgegen und wären zugleich ohne technische Vermittlung nicht vorstellbar.

Zugleich ließe sich aber auch argumentieren, dass die Verwendung von QDAS keine grundsätzlich neuen Arbeitsweisen in die qualitative Forschung eingeführt hat, sondern vor allem Mittel zur schnelleren, präziseren und platzsparenden Datenverarbeitung bereitstellt. Sylvain BOURDON weist jedoch darauf hin, dass gerade die vergleichsweise *weniger aufwendige* Art der Datenanalyse den eigentlichen Kern der Transformation durch QDAS für das qualitative Arbeiten ausmacht: Die Entlastung der Forschenden von Routinetätigkeiten bedeutet letztlich, dass dadurch Kapazitäten für weiterführende Fragen und explorative Herangehensweisen an das Datenmaterial frei werden: “In our practically limited universe, the depth of the analysis will benefit most from methods, techniques and aids that accelerate the routine tasks related to data manipulation. No matter how dedicated and available a researcher is to her data, there is a definite encouragement to *explore* when a matrix display of the data, for example, can be produced within a few minutes or seconds instead of monopolizing the best part of a day’s – or a week’s work” (Bourdon 2002, S. 4; Herv. OM). Gerade zeitaufwändige Prozesse, die zuvor aus forschungsökonomischen Gründen auf bestimmte Phasen, spezifische Forschungskontexte und auf einen bestimmten Umfang beschränkt waren, wie beispielsweise die Überprüfung der *inter-coder reliability*, können mithilfe von Software routinemäßig in breiterem Umfang oder sogar *explorativ* zum Einsatz kommen, insoweit sie mit der Software mit weniger Aufwand zu bewerkstelligen sind (vgl. ebd., S. 4). Dies ermöglicht es, so Susanne FRIESE, zunehmend auch solche Fragen an das Datenmaterial zu stellen, die aufgrund des Zeitaufwands, der mit einer manuellen Analyse der Daten einhergeht, gar nicht erst gestellt würden (vgl. Friese 2006, S. 312).

Insgesamt lässt sich behaupten, dass die Potentiale der Software weniger darin liegen, den Analyseprozess an ein technisches System „delegieren“ zu können, sondern darin, die Fähigkeiten der Forschenden, „sich zu organisieren, sich zu erinnern und systematisch vorzugehen“ (Konopásek 2011, S. 381 f.), zu *erweitern*. Dabei kann Software auch den Raum für die produktive und kreative Analysearbeit erweitern, denn BOURDON zufolge gehe es in der qualitativen Forschung stets auch um den “creative use of methods” (Bourdon 2002, S. 9). Dazu können gerade die umfangreichen QDAS-Pakete einen Beitrag leisten, da sie flexibel einsetzbar sind und in diesem Zuge u. a. auch ein leichteres Navigieren zwischen und „Rekombinieren“ von unterschiedlichen methodischen (qualitativen, quantitativen, Mixed-Methods-Ansätzen), modalen (visuellen, auditiven, audiovisuellen) und codalen (abbildhaften, symbolischen, verbalen, nicht-verbalen etc.) Perspektiven auf einen Erkenntnisgegenstand ermöglichen.⁹⁰ So erlauben zahlreiche QDAS-Titel das *Verlinken* und *Gruppieren*, *Annotieren* und *Suchen*, *Schreiben* und *Verbinden*, das *Inte-*

⁹⁰ Die Unterscheidung von Sinnesmodalitäten und Codierungsarten habe ich einem Abschnitt zu *Medienmerkmalen* aus dem Band *Medienbildung in Schule und Unterricht* entnommen (vgl. Tulodziecki/Herzig/Grafe 2019, S. 34–36).

gieren von Referenzen sowie das Kombinieren und Konvertieren von Resultaten – und damit technisch vereinfachte Verfahren des „Schneidens, Abtrennens, Aufteilens, Ausdehnen, Zusammenstückelns, Verbindens, Versammeln und Vermischens, Aufhäufens und Austeilens“, wie John DEWEY dies für das experimentelle Forschen beschrieben hatte (Dewey 1998, S. 158). In dieser Eigenschaft flexibilisiert QDAS nicht nur methodische, sondern auch darstellungsbezogene bzw. sinnliche Herangehensweisen an einen Forschungsgegenstand.

Zentral hierfür ist, dass in QDAS Inhalte und Daten über Retrieval-Funktionen häufig per ‚Klick‘ vergleichsweise unaufwendig rekontextualisiert werden können und solche Rekontextualisierungsmöglichkeiten dabei eine *tentative* Annäherung der Forschenden an das Datenmaterial ermöglichen. Sowohl Kodes als auch Memos und Originaltexte können beispielsweise in neue Ordnungen gebracht werden, die wiederum einen neuen bzw. erweiterten Blick auf das Datenmaterial erlauben. So ist es in der Software MAXQDA möglich, durch ein „Aktivieren von Codings“ alle Datenelemente, denen ein bestimmter Kode angeheftet wurde, anzuzeigen (MAXQDA 2022b, S. 16). Hierbei bietet ein Retrievalfenster unterschiedliche Möglichkeiten, mit den „Daten weiterzuarbeiten“. So können beispielsweise über Exportfunktionen Listen oder Tabellen der ausgewählten Kodierungen erstellt werden (ebd., S. 17). Eine weitere Rekontextualisierungsmöglichkeit findet sich in MAXQDA auch in der Funktion, Kodes *numerisch* gewichteten und diesen so einen „Relevanzscore“ zuordnen zu können (ebd., S. 227). Festgelegt werden kann dabei auf einer Skala von 0 bis 100, „zu welchem Grad ein bestimmtes codiertes Segment das von der Kategorie Gemeinte zum Ausdruck bringt“ (ebd., S. 227). Begriffszuordnungen, und damit der Reflexionsprozess der Forschenden, werden hier mit einer (numerischen) Wertung markiert und ermöglichen so eine *Neubetrachtung* des eigenen Analyseprozesses auf einer quantitativen Ebene. Die quantitative Perspektive kann dabei erweiterte Perspektiven auf den eigenen Kodierprozess offenlegen und trägt noch einmal in anderer Weise zur gerade für das qualitative Forschen wesentlichen reflexiven Auseinandersetzung der Forschenden mit den eigenen Vorgehensweisen und dem dabei eingebrachten Vorwissen bei.

Das Zuordnen numerischer Relevanzwerte zum eigenen Kodievorgang ist nur *eine* Möglichkeit, das qualitative Vorgehen mit quantitativen Analyseschritten zu kombinieren. Im Rahmen der großen Softwarepakete wie MAXQDA können darüber hinaus qualitative Analysen auch zu *Mixed-Methods-Verfahren* ausgeweitet werden, in denen qualitative und quantitative Daten miteinander verknüpft werden. Beispielsweise ist es möglich, Dokumenten einen „Datensatz von Attributen“ in Form von Variablen zuzuordnen, die dann wiederum statistisch ausgewertet werden können. So können persönliche Daten oder andere „Rahmeninformationen“ zu Datenmaterialien in Form von Variablen festgelegt werden (MAXQDA 2022b, S. 34), darunter Bearbeitungsdaten, die Anzahl der kodierten Segmente oder Memos eines Dokuments oder die Anzahl von Sätzen, Wörtern und Zeichen in einem Dokument (vgl. ebd., S. 558). Von Interesse für die Analyse sind dabei insbesondere solche Variablen, die den Kodes zugeordnet werden können, z. B. Variablen, die aufgrund von Häufigkeitsprofilen der verwendeten Kodes entstehen, die

dann wiederum zur Datenselektion oder für eine statistische Analyse genutzt werden können (vgl. ebd., S. 579). Mit der Funktion „Quantizing“ können beispielsweise Kodehäufigkeiten als Dokumentvariablen festgelegt werden, die für jedes Dokument erfassen, wie häufig ein Kode darin vorkommt (ebd., S. 580).

Rekontextualisierungen sind aber auch durch das vereinfachte „Management“ von Variablenlisten möglich (MAXQDA 2022b, S. 560). So kann zwischen Variablen- und Datenansicht hin- und hergeschaltet werden, es können Variablen erzeugt oder gelöscht werden sowie Variablen in boolsche Variablen umgewandelt werden. Zur Auswertung von Variablen können Statistiken für Dokument- bzw. Kodevariablen erzeugt werden, die sich für die markierten Variablen in Häufigkeitstabellen oder Diagrammen darstellen lassen (vgl. ebd., S. 560 f.). Werden Dokumentenvariablen dabei als Selektionskriterien in der Segmentsuche genutzt, so lassen diese sich zum Beispiel vor dem Hintergrund soziodemographischer Merkmale vergleichen, in etwa zur Frage, welche Personen welchen Alters Thema X so oder so bewertet haben (vgl. ebd., S. 35). Wie bereits erwähnt, lassen sich Daten durch zusätzliche Module auch relativ unaufwendig quantitativ-statistisch oder mittels entsprechender Mixed-Methods-Designs in der Software auswerten (vgl. MAXQDA 2022b, S. 579–618), dies u. a. dank Import-Export-Funktionen, so beispielsweise zwischen MAXQDA, SPSS und Excel (vgl. ebd., S. 571–573). Die Rahmendaten für Dokumentenvariablen von einem Programm wie Excel in die QDAS zu importieren oder umgekehrt, könnte dann von Interesse sein, wenn ergänzend zu Interviews ein standardisierter Fragebogen eingesetzt wurde oder wenn mit aus MAXQDA exportierten Daten statistische Analysen in einem anderen Programm durchgeführt werden sollen, deren Ergebnisse in der QDAS weiterverwendet werden sollen (vgl. MAXQDA 2022b, S. 569).⁹¹

Rekontextualisierungen im Hinblick auf mögliche *Repräsentationsformen* können darüber hinaus mittels unterschiedlicher *Visualisierungstools* vorgenommen werden. Das beginnt bereits damit, dass Kodes und Dokumenten individuelle Farben zugeordnet werden können, die die Organisation der Daten erleichtern (vgl. MAXQDA 2022b, S. 32). Mithilfe weiterer Visualisierungswerzeuge können schließlich auch Beziehungen zwischen den Daten aufgezeigt werden, z. B. im *Code-Matrix-Browser* (vgl. ebd., S. 33), mit dem sich visualisieren lässt, in welchen Dokumenten zu welchen Kategorien viele bzw. wenige Segmente vorhanden sind (vgl. ebd., S. 394). Mit dem Tool *MAXMaps* lassen sich einzelne Analyselemente wie Kodes, Dokumente und Memos in einer *Netzstruktur* darstellen und deren Beziehung zueinander veranschaulichen (vgl. ebd., S. 447). So lassen sich beispielsweise Kodes als interaktive „Codelandkarte“ (ebd., S. 412) darstellen, eine Möglichkeit, die u. a. auch für die Funktion des „Creative Coding“ (ebd., S. 249), und damit für das *offene Kodieren* nutzbar gemacht werden kann (vgl. ebd., S. 174). Über die Funktion *Creative Coding* wird der „kreative Vorgang, [...] Codes zu erzeugen, zu sortieren und organisieren, Beziehungen zwischen ihnen zu definieren, Obercodes einzufügen und eine hierarchische Struktur von Codes zu bilden“ (ebd., S. 249) visuell zugäng-

⁹¹ Seit der Version 12.2 hat MAXQDA auch ein eigenes Statistikmodul integriert, mit dem deskriptive und inferenzstatistische Berechnungen durchgeführt werden können (vgl. MAXQDA 2022b, S. 279).

lich, denn in der Arbeitsoberfläche lassen sich Kodes einfach in die Arbeitsfläche ziehen und zusammengehörige Kodes beieinander platzieren. Die einzelnen Entwicklungsstadien in diesem Prozess des offenen Kodierens lassen sich dann jeweils als einzelne *Map* abspeichern und über die Funktion *MAXMaps* wieder abrufen (vgl. ebd., S. 256). Über die vorhandenen Retrieval-, Visualisierungs- und Speicherfunktionen wird der offene Kodierprozess zum virtuellen *Probefehden*, der ein kreatives ‚Spielen‘ mit Kodes und Begriffsbildungen erlaubt, ohne dass diese sich zunächst auf das bestehende Projekt auswirken. Erst nach Beenden des *Creative-Coding-Modus* können Änderungen in das bestehende Kodesystem übertragen werden (vgl. ebd., S. 257).

An dieser Stelle zeigt sich wiederum, dass die generische, flexible und durchlässige Struktur der in diesem Abschnitt beschriebenen QDA-Software (MAXQDA) über ihre Retrieval- und Rekontextualisierungsfeatures die von Lev MANOVICH diagnostizierte *remixability* ermöglicht, sowohl in Bezug auf Repräsentationsformen als auch im Hinblick auf Verfahren und methodische Zugänge (vgl. Manovich 2013, S. 46). Das spezifisch *generative* Moment von QDA-Software gründet dabei in seiner interpretativen Flexibilität (vgl. Abschnitt 5.1.1 und 5.1.5), die wiederum ein relativ einfaches Wechseln zwischen und Kombinieren von unterschiedlichen methodischen, verfahrenstechnischen, modalen und codalen Perspektiven erlaubt. Erkenntnisarbeit erhält hier – neben den Möglichkeiten zur Systematisierung von Daten sowie der Offenlegung des eigenen Forschungsprozesses – auch einen *spielerischen* Charakter. Die allgemeine digitale Codierung von Daten- und Prozessraum als *Informationsstruktur* innerhalb der Software ermöglicht ein vergleichsweise unaufwendiges Neuinszenieren von Daten in unterschiedlichen Kontexten und damit ein tentatives Erproben sowohl von Darstellungsmöglichkeiten als auch Analysezugängen zum Datenraum. Die umfänglichen QDAS-Pakete erweisen sich damit als *Experimentträume*, die sowohl aufgrund des von ihnen zur Verfügung gestellten technischen Möglichkeitsraums als auch aus forschungökonomischen Gründen erweiterte Perspektiven auf das qualitative Forschen gestatten. Die Frage, inwieweit Forchende diesen softwaretechnischen Möglichkeitsraum und den darüber angebotenen „Methodenüberschuss“ (Rädiker/Kuckartz 2019, S. 12) auch ausschöpfen und welche Interessen hierbei im Vordergrund stehen, wäre allerdings erst auf empirischem Wege zu klären.

Die in der Software mögliche relativ unaufwendige Art „experimentellen Spielens mit Dingen“ (Dewey 1998, S. 90) kann jedoch ohne eine entsprechend methoden- und datenkritische Haltung auch hier dazu führen, nicht-existente Zusammenhänge und Muster im Datenmaterial zu ‚erkennen‘ bzw. mehr in das Material hineinzulesen, als dieses eigentlich hergibt (vgl. boyd/Crawford 2013, S. 198; vgl. Abschnitt 5.2.2). Die Gefahr, nicht vorhandenen Mustern aufzuliegen, verstärkt sich womöglich vor dem Hintergrund, dass heute auch in den QDAS-Paketen weitergehende Automatisierungsfunktionen integriert und damit verfügbar gemacht werden. So erlaubt beispielsweise MAXQDA inzwischen auch eine „Automatische Codierung“ (MAXQDA 2022b, S. 333), bei der auf Grundlage bestimmter Zeichenfolgen automatisch Kodes generiert werden können. Dabei hat die automatische Codierung zwar den Vorteil, dass sie „leicht, problemlos und reliabel von-statten geht“, sie kann aber auch wenig ‚sinnhafte‘ Kodierungen produzieren, so bei-

spielsweise, wenn sie das automatische Vorkommen des Wortes „Mutter“ mit dem Kode „Familie“ versieht, dabei aber auch solche Textstellen einschließt, in denen beispielsweise von „Muttererde“ die Rede ist (MAXQDA 2022b, S. 333). Die damit zusammenhängenden Schwierigkeiten der Integration von Techniken des *Natural Language Processing* werden im Kontext des geisteswissenschaftlichen ‚numerischen Lesens‘ im folgenden Abschnitt noch einmal aufgegriffen. Sie zeigen, dass durch entsprechende Automatisierungsfunktionen, die u. a. auf Techniken des maschinellen Lernens basieren, das Erkennen von Sinnstrukturen in unstrukturierten Daten – und damit auch die Kernepistemologie qualitativen Forschens – aus dem weitgehend noch menschlich steuerbaren Experimentalraum, wie ihn QDA-Software aktuell noch bietet, in einen in Teilprozessen bedeutend weniger kontrollierbaren Experimentalraum überführen. Dieser erweitert zwar noch einmal Neoperspektivierungs- und Neuinszenierungsmöglichkeiten von Daten, jedoch um den Preis einer zunehmenden *Invisibilisierung* der Verarbeitungsprozesse.

Im Kontext von QDAS-Paketen spitzen sich die Möglichkeiten des automatisierten Analysierens von Daten heute auch mit der Integration von KI-basierten Techniken, wie beispielsweise Sprach- und Textgeneratoren, weiter zu. Wie derzeit viele andere Softwareprodukte erhält z. B. MAXQDA mit der Softwarefunktion *AI Assist* eine Anbindung an das generative Sprachmodell von OpenAI (vgl. MAXQDA 2022a). *AI Assist* soll Analyseprozesse durch die Möglichkeit einer automatisierten Analyse und Zusammenfassung des Datenmaterials unterstützen. Welche produktiven Erkenntnismöglichkeiten entstehen durch Techniken des *Natural Language Processing* im Kontext der Analyse sprachbasierter Daten? Unter anderem dieser Frage wird im folgenden Abschnitt im Kontext einiger Diskurse der Digital Humanities nachgegangen, dabei wird am Ende auch noch einmal auf die Möglichkeiten generativer transformerbasierter algorithmischer Systeme für Interpretationsprozesse in der rekonstruktiven Sozialforschung eingegangen.

Numerisches ‚Lesen‘ als Experimentierfeld

„Computer ‚verstehen‘ keine Texte, sind aber gut im Zählen“ (Turney/Pantel 2010, 141; Übers. ChatGPT) ist eine These, die u. a. auch die Reflexion der Potentiale digitaler Technik für das geisteswissenschaftliche Forschen angeregt hat. Im Vordergrund steht dabei die Frage, inwiefern sich durch Computertechnik auch numerische, statistische und quantitative Ansätze für die Erforschung geisteswissenschaftlicher Fragestellungen nutzbar machen lassen (vgl. Viehhauser 2018, S. 177). Zugleich wirken der These, Computer könnten Texte nicht ‚verstehen‘, in jüngster Zeit neue, transformerbasierte, algorithmische Verfahren im Zusammenhang des *Natural Language Processing* entgegen, die es ermöglichen, aus Häufigkeiten, und damit dem Zählen, auch semantische Bedeutungen menschlicher Sprache in immer größerem Umfang zu erschließen (vgl. Turney/Pantel 2010, S. 141). Dabei enthalten sowohl frühere als auch aktuelle Entwicklungen des *Natural Language Processing* einige neuartige epistemische Implikationen für das ‚Kerngeschäft‘ geisteswissenschaftlichen sowie qualitativen Forschens, nämlich das sinn- und bedeutungsstiftende Arbeiten mit *Texten* und ‚textanalogen‘ Gegenständen.

Warum hier der Fokus auf ‚Text‘? Im vorliegenden Abschnitt liegt der Fokus zunächst auf den (digitalen) Geisteswissenschaften, deren Arbeit mit Texten und textanalogen Erkenntnisgegenständen als konstitutive Dimension einer geisteswissenschaftlichen Epistemologie vorausgesetzt wird. Paul HOYNIGEN-HUENE zufolge eint die Gegenstände geisteswissenschaftlicher Betrachtung die Bedeutungs- bzw. Sinndimension ihrer Verfahren, wobei *Sinn* zugleich etwas darstellt, das gerade nicht *sinnlich*, also mittels der menschlichen Sinne, wahrnehmbar ist, sondern nur durch sinnbildendes ‚Lesen‘ und damit nur durch einen *Reflexions-* bzw. *Interpretationsprozess* erschließbar ist (vgl. Hoyningen-Huene 2016, S. 71–75). Vermittelt werden Gegenstände der Geisteswissenschaften dabei im Wesentlichen über ‚Texte‘ im weitesten Sinne. Gemeint sind damit nicht nur genuine Schriftstücke, sondern kulturelle Artefakte im Allgemeinen, zu denen beispielsweise auch Musikstücke oder Bilder gehören, die jedoch, ähnlich wie schriftliche Texte, erst reflexiv auf eine Bedeutung hin erschlossen bzw. sinnbildend ‚gelesen‘ werden müssen. Im Bewusstsein, dass eine Einordnung ‚der Geisteswissenschaften‘ an dieser Stelle und in dieser Kürze nicht gelingen kann, übernehme ich in dieser Studie – eingedenk vieler anderer Möglichkeiten der Konturierung eines genuin geisteswissenschaftlichen Selbstverständnisses (vgl. u. a. Benedikter 2001) – HOYNIGEN-HUENES Position als Arbeitshypothese. Dabei geht es auch nicht darum, Praktiken der Interpretation und Reflexion im Sinne der Trennung der „zwei Kulturen“ (vgl. Snow 1961) als ausschließliche Epistemologie der ‚Geisteswissenschaften‘ zu zementieren. Vielmehr sollen interessante Reibungspunkte eruiert werden, die sich aus dem Aufeinandertreffen statistisch-quantitativer Verfahren und dem wissenschaftlichen Selbstverständnis jener Disziplinen als ‚lesende‘ und ‚interpretierende‘ ergeben. In diesem Kontext argumentiert Gabriel VIEHHAUSER, dass sich die interessantesten Fragestellungen der Digital Humanities gerade aus jener „Reibung von quantifizierenden und qualifizierenden Zugängen“ (Viehhauser 2018, S. 174) ergeben.

Worin bestehen nun aber die Stärken der algorithmischen Verfahren für die Textanalyse und welche Bedeutung kommt dabei den zunehmend automatisierten, auf *maschinellem Lernen* basierenden Verfahren zu? Die algorithmischen Verfahren basieren im Wesentlichen auf Erkenntnissen der Computerlinguistik, der es darum geht, strukturelle Eigenschaften sprachlicher Äußerungen algorithmisch zu erfassen und diese mit deren inhaltlichen Dimensionen in Beziehung zu setzen (vgl. Kuhn 2018, S. 15). Hinsichtlich der inhaltlichen Dimensionen müssen sowohl wörtliche als auch pragmatische Bedeutungsebenen technisch und auf Modellebene erfasst werden. Bei der pragmatischen Ebene handelt es sich um die Bedeutungsebene, die „gleichsam mitverstanden“ wird und für die „der situative Kommunikationskontext“ (ebd., S. 15) einschlägig ist. Jonas KUHN argumentiert, dass die „formal exakte und umfassende Modellierung des menschlichen Vermögens, sprachliche Äußerungen und Text zu produzieren und im Kontext zu verstehen“ noch nicht realisierbar sei, denn eine solche müsste auch die menschliche Fähigkeit einschließen, „beliebige Inferenzen aus konkurrierenden Interpretationsalternativen zu ziehen, um sie gegen den Kontext abzugleichen“ (ebd., S. 15). Die Schwierigkeit besteht also darin, sprachliche Äußerungen kontextbasiert zu erfassen und dabei auch *unterschiedliche* Bedeutungen einer Äußerung differenzieren zu können.

Für formalisierte Modelle der Textanalyse existieren in der Computerlinguistik zwei übergeordnete Ansätze, ein *linguistisch-struktureller* und ein *distributioneller* (vgl. Kuhn 2018, S. 16). Interessant sind dabei aktuell vor allem die distributionellen Ansätze, da diese mit der Entwicklung transformerbasierter Architekturen des Natural Language Processing einen Entwicklungssprung zu verzeichnen haben. Zunächst jedoch eine kurze Einführung in die grundsätzliche Unterscheidung struktureller und distributioneller Ansätze in der Computerlinguistik: Ausgangspunkt des *linguistisch-strukturellen* Analyseansatzes ist die sprachliche bzw. grammatischen Struktur eines Textes, bei der dann Kategorien relevanter Texteinheiten, wie Personennamen oder Zeitausdrücke, operationalisiert werden können. Ziel ist es, dass die entwickelten algorithmischen Modelle die Verteilung analyserelevanter Kategorien im Text vorhersagen können. Strukturelle Ansätze nähern sich diesen in der Regel „entlang eines Mehrebenenmodells, das die bedeutungstragenden Ausdrücke strukturell identifiziert und zueinander in Beziehung setzt“ (Kuhn 2018, S. 17). Dadurch können beispielsweise für bestimmte Textabschnitte die darin auftauchenden Figurennamen sowie Figurenrelationen ermittelt werden, z. B. „X und Y tauchen im gleichen Kapitel auf“ (ebd., S. 17). Darüber hinaus können in größeren Textkorpora auch „Figurennetzwerkkonstellationen“ untersucht werden (ebd., S. 17). Zur Verfeinerung der syntaktischen Analyse kommen auch Parser zum Einsatz, die syntaktische Strukturen, wie zum Beispiel „X verdächtigt Y eines Vergehens“, untersuchen, über die schließlich eine inhaltlich differenziertere Analyse vorgenommen werden kann (ebd., S. 17). Zur algorithmischen Umsetzung linguistisch-struktureller Verfahren kommen dabei vor allem „regelbasierte Komponenten“ zum Einsatz sowie auch Verfahren überwachten Lernens, bei denen Parameter auf Grundlage *annotierter* Korpusdaten trainiert werden (Kuhn 2018, S. 17). Linguistisch-strukturelle Verfahren der maschinellen Textanalyse zeichnen sich also dadurch aus, dass Texte durch linguistisch bereits *erschlossene* grammatischen und syntaktischen (Sprach-)Strukturen sowie aufgrund der Annotation von Trainingsdaten eine – menschliche – Vorstrukturierung erfahren, auf deren Grundlage Algorithmen entwickelt werden. Die linguistisch-strukturellen Verfahren der automatisierten Textanalyse eignen sich daher vor allem für „klar umrissene Zielkonfigurationen“, bei denen Algorithmen sich zur „Maximierung der Vorhersagequalität“ auf Grundlage menschlicher Vorstrukturierungen in Form linguistischer Vorgaben sowie annotierter Daten gut optimieren lassen (ebd., S. 17). Sie gleichen daher eher den von HARRACH (2014) als *zielorientiert* markierten Konstellationen des maschinellen Lernens (vgl. Abschnitte 3.3 und 5.2.2).

Anders bei den *distributionellen* Verfahren: Durch diese werden interpretationsrelevante Analysekategorien statistisch über die „Verteilung des lexikalischen Materials“ ohne direkte Berücksichtigung grammatischer Strukturen ermittelt. Dabei lassen sich stilistische und inhaltliche Ähnlichkeiten zwischen Texten bzw. Textpassagen mittels der statistischen Analyse von „Wort-Kookkurrenzen“ oder auch „Häufigkeitsprofilen des Vokabulars“ ermitteln. Das Verfahren eignet sich zur Kategorienbildung (Clustering) mittels unüberwachten Lernens, so beispielsweise zur „Hypothesengenerierung für Textverwandtschaften, die mit bloßem Auge schwer zu erkennen sind“ (Kuhn 2018, S. 18).

Gegenüber dem strukturellen Ansatz benötigen die distributionellen Verfahren „keine sprachspezifische (sic!) Teilkomponenten“ und können so „ohne großen Anpassungsaufwand auf beliebige Sprachen und historische Sprachstufen angewendet werden“ (ebd., S. 18).

Eine der größten Hürden für die Nutzung algorithmenbasierter Sprachanalyseverfahren bestand bislang darin, dass Computer nur wenig vom vollständigen *Bedeutungsumfang* menschlicher Sprache verarbeiten konnten. Neuere „semantische Technologien“ (Turney/Pantel 2010, S. 141; Übers. OM) basieren dagegen in der Regel auf mittels Deep Learning entwickelten Künstlichen Neuronalen Netzen, die in der Lage sind, sprachliche Äußerungen in *numerische Vektoren* (Zahlenreihen) zu ‚übersetzen‘, die wiederum die maschinelle Verarbeitung jener Äußerungen auf semantischer Ebene ermöglichen (vgl. ebd., S. 141; Wolfram 2023, S. 69–76). Dieser Prozess wird auch als *word embedding* bezeichnet, eines der bekanntesten Modelle ist das *word2vec*-Modell,⁹² das seinerzeit von der Firma Google entwickelt wurde (vgl. u. a. Shivanandhan 2023, o. S.). Traditionelle numerische Sprachmodelle definierten Wörter noch als voneinander separierbare Einheiten: So konnten Worte wie *Hund* zwar als 1 und *Katze* als 2 numerisch dargestellt werden, dieses Vorgehen brachte aber noch nicht die Relation zum Ausdruck, die zwischen Hund und Katze (z. B. als Tiere oder Haustiere) besteht. Word embeddings lösen dieses Problem, indem sie Worte aus einem zusammengehörigen *Bedeutungsraum* auch im korrespondierenden *Zahlenraum* nahe beieinander platzieren (vgl. Wolfram 2023, S. 69). So ermöglichen Vektorraummodelle beispielsweise Analogieschlüsse, bei denen es möglich wird, ein Wort *X* zu bestimmen, dessen Vektor zu einem vorgegebenen Ausgangswort (z. B. *Schauspieler*) in einem ähnlichen Verhältnis stehen soll wie ein anderes Wortpaar (z. B. *König* zu *Königin*). In vielen Fällen führt dieser Analogieschluss zum Ergebnis *X = Schauspielerin*, obwohl im Rahmen des Trainings „keinerlei explizite semantische Information zur Verfügung gestellt wurde: das Lernen basiert ausschließlich auf reinen Oberflächenfolgen von Wörtern“ in einem umfangreichen Textkorpus (Kuhn 2018, S. 20). Vektorraummodelle basieren also auf der Idee, dass sich durch räumliche Nähe von Zahlen im Zahlenraum auch eine Bedeutungsnähe der durch sie repräsentierten Worte ausdrücken lässt, konzeptionell haben sie damit für das ‚Semantischwerden‘ algorithmischer Sprachprozessierung einen entscheidenden Beitrag geleistet.⁹³ Auf diese kurSORische

⁹² Beim *word2vec*-Modell handelt es sich um ein *neuronales* distributionelles Modell. Darin wird jede Wortform einer Sprache als mehrdimensionaler Zahlenvektor repräsentiert, bei dem die Zahlenwerte jeweils der *Aktivierungsstärke* bestimmter Neuronen entsprechen (vgl. Kuhn 2018, S. 20). Durch eine ähnliche Aktivierungsstärke können Worte aus dem gleichen Bedeutungsraum als zusammengehörig repräsentiert werden. Dabei führt das gemeinsame Auftreten (Kookkurrenz) zweier Wortformen im neuronalen Netz zur Verstärkung der Synapsen der Neuronen, die charakteristische Worteigenschaften jener Wortformen repräsentieren (vgl. ebd., S. 20).

⁹³ Word embeddings sind heute auch wesentlicher Bestandteil sogenannter GPT-Modelle, wie GPT-2, GPT-3 und GPT-4, deren Architekturen jedoch gegenüber dem *word2vec*-Modell eine Weiterentwick-

Einführung in die algorithmische Sprachverarbeitung aufbauend werden im Folgenden unterschiedliche Beispiele aus Geistes- und Sozialwissenschaften diskutiert, die die Bedeutung algorithmischer Sprachverarbeitung für das *sinnerzeugende* und sinnstrukturierende ‚Lesen‘ in den Blick nehmen.

Der Diskurs um neue Formen geisteswissenschaftlichen ‚Lesens‘ im Zusammenhang digitaltechnisch bzw. algorithmisch prozessierter ‚Texte‘ (s. o.) wurde in den vergangenen Jahrzehnten vor allem in den sogenannten *Digital Humanities*⁹⁴ geführt. In den Literaturwissenschaften wurde die Reflexion der Potentiale quantitativer, statistischer Verfahren zur Annäherung an die Textanalyse u. a. durch die Arbeit des italienischen Literaturwissenschaftlers Franco MORETTI (2013) initiiert. Dieser prägte den Begriff des *distant reading* und damit eine Lektüreform, durch die Forschende sich Texten gerade nicht durch das typische idiosynkratische ‚Eintauchen‘, sondern vielmehr aus der ‚Vogelperspektive‘ nähern. So vertrat MORETTI mit seinem Konzept des *distant reading* den Anspruch, durch ein quantitatives Lesen von Texten aus der Distanz ein „realistischeres Bild der gesamten Schriftproduktion zu erhalten“ (Viehhauser 2015, o. S.). Beim Distanzlesen ginge es ja gerade darum, die Rechenkapazitäten des Computers zu nutzen, um „die breite Masse der tatsächlich vorhandenen Texte“ (ebd., o. S.) zu erschließen.⁹⁵

lung erfahren haben. Während beim word2vec-Modell jedem Wort ein fester Vektor zugeordnet wird, setzen die Transformer-Modelle auf flexiblere Formen des word embeddings, denn sie transformieren nicht nur einzelne Wörter in Zahlenvektoren, sondern berücksichtigen bei der Verortung jeweils auch den *Kontext*, in dem ein Wort erscheint – ein wesentlicher Entwicklungsschritt der algorihmischen Spracherkennung hin zu einem maschinellen ‚Verstehenkönnen‘ menschlicher Sprache (vgl. Shivanandhan 2023, o. S.), bei dem auch Mehrdeutigkeiten sowie Änderungen von Wortbedeutungen je nach Kontext berücksichtigt werden. So verarbeiten neuere GPT-Architekturen ganze Wortsequenzen (Tokens) über mehrere Schichten des neuronalen Netzwerks. Die dabei neu entstehenden Vektorsequenzen erlauben es schließlich, nicht mehr nur einzelne Wörter im Vektorraum zu verorten, sondern auch deren Beziehungen zu den anderen Wörtern in der Eingabesequenz (vgl. ebd., o. S.).

⁹⁴ *Digital Humanities* als eine im Wesentlichen in der anglo-amerikanischen Wissenschaftsgemeinschaft entstandene Wortschöpfung bezeichnet eine Forschungsinitiative, der es um den einschneidenden Einfluss neuer digitaler und datengetriebener Technologien auf wissenschaftliche Prozesse in den Geistes- und Sozialwissenschaften geht. Ihre Ursprünge werden allgemein im *Humanities Computing* verortet, dessen Funktion zunächst in der technischen Unterstützung wissenschaftlicher Prozesse in den traditionellen Humanities bestand. Die Umdeutung des Begriffs in *Digital Humanities*, “meant to signal that the field had emerged from the low-prestige status of a support service into a genuinely intellectual endeavour with its own professional practices, rigorous standards, and exciting theoretical explorations” (Hayles 2012b, S. 43; vgl. auch Berry 2011, S. 2). Dabei wird eine erste Entwicklungsphase der Digital Humanities gern als *quantitative* bezeichnet, da darin insbesondere die “search and retrieval powers of the database” für das geisteswissenschaftliche Forschen nutzbar gemacht werden sollten. Eine darauffolgende Phase kann dagegen als *qualitativ*, und damit eher als “interpretive, experiential, emotive, generative in character” (Hayles 2012b, S. 44) beschrieben werden.

⁹⁵ Der „zählende Umgang“ mit Texten hat nicht erst im Zuge des digitalen Wandels Eingang in die Literaturwissenschaften gehalten, hat aber im Zuge der Diskussionen im Rahmen der *Digital Humanities* neu

Im Kontext der geisteswissenschaftlichen Praxis des Lesens, die für Kathrine HAYLES „intimately related to meaning“ ist (Hayles 2012b, S. 46), beschreibt die Autorin das Verhältnis von Mensch und Algorithmus als das zweier einander gegenüberliegender Pole, zwischen denen es sich im Zuge der neuen algorithmisch verfassten Zugriffe auf das ‚Lesen‘ neu zu positionieren gilt: Im einen Extrem bildet der Mensch als interpretierendes Erkenntnissubjekt selbst den Ausgangspunkt des Lesevorgangs, indem er im wörtlichen Sinne in Texte „eintaucht“ (Hayles 2012b, S. 47; Übers. OM). Auf der anderen Seite des möglichen ‚Lesespektrums‘ zwischen Mensch und Algorithmus steht der Algorithmus am Ausgangspunkt des Lesevorgangs und der Mensch kommt erst *nach* der maschinellen Vorarbeit zum Zug (vgl. ebd., S. 47). Geht man davon aus, dass Lesen stets einen *Interpretations-* und *Reflexionsprozess* darstellt, stellt sich nun die Frage, an welcher Stelle des oben erwähnten Spektrums sich der Mensch als Lesender, Interpretierender und damit Wissenschaffender positionieren kann, um zwischen einem algorithmisch vermittelten und dem eigenen algorithmisch unvermittelten Lesevorgang ein möglichst produktives Verhältnis zu schaffen.

Gabriel VIEHAUSER fragt diesbezüglich, inwieweit sich die Aktivitäten der menschlichen und technischen ‚lesenden‘ Agenten überhaupt sinnvoll trennen ließen, ob es beispielsweise sinnvoll sei, den Lesevorgang in eine Analyse- und eine Interpretationsebene zu unterteilen. Dabei vollzöge sich die technische Aktivität vor allem auf einer „vergleichsweise objektiven Analyseebene“, die aber „„unter“ der ‚eigentlichen‘ Zielsetzung der Literaturwissenschaft“ liege, während den menschlichen Agenten die „Interpretation“ zufiele (Viehhauser 2018, S. 177). VIEHHAUSER argumentiert, dass sich mit technischen Mitteln einige „Texteigenschaften in einer objektiv-empirischen Weise an der Textoberfläche ablesen“ ließen (ebd., S. 177), fraglich bleibe jedoch, inwiefern die Technik bzw. der Computer dabei auch die *Interpretation* als das eigentliche „Kerngeschäft der Literaturwissenschaft“ beeinflusst, welche ja in hohem Maße von Beobachterabhängigkeit und „Unschärfen“ bestimmt ist (Viehhauser 2018, S. 177). Das heißt also: Was bedeuten z. B. algorithmisch generierte Strukturvorschläge für den Prozess des sinnverstehenden Lesens der Literaturwissenschaftlerinnen und Literaturwissenschaftler?

Bereits in der nicht-computertechnisch gestützten Textarbeit sind die Ebenen von Analyse und Interpretation schwerlich zu trennen und es stellt sich die Frage, inwieweit auch die algorithmisch vollzogene „formale Analyse“ anknüpfbare menschliche Interpretationsmöglichkeiten bereits vorab „festlegt“ (Viehhauser 2018, S. 178). VIEHHAUSER bezieht sich in seinem Beitrag zu quantifizierenden Zugängen zum *mittelhochdeutschen Tagelied* auf eine Studie von Ulrich KNOOP (1976), der (ohne Computer) eine statistisch-

an Aufmerksamkeit gewonnen (Bernhart et al. 2018, S. 1; H. i. O.). So speisen sich Ramón REICHERT zufolge die Kernmethoden der Digital Humanities bis heute „aus der Tradition der Philologie, die das evidenzbasierte Sammeln und Ordnen der Daten zur Grundlage von Hermeneutik und Interpretation erklärte“ (Reichert 2014b, S. 12). Theo RÖHLE weist darauf hin, dass viele Fragestellungen der Digital Humanities bereits in den 1960er Jahren debattiert worden waren, so u. a. im Rahmen von Debatten um „die Verwendung quantifizierender Methoden“ und die Bedeutung des Computers für die Genese geisteswissenschaftlichen Wissens (Röhle 2014, S. 159 und 164).

quantitative Analyse mittelhochdeutscher Texte zur Konturierung der Gattung des Tagelieds durchgeführt hatte. Doch bereits seine Vorauswahl möglicher Tagelieder zur Analyse beruhte auf seinem *Vorverständnis der Gattung*, weshalb sich in der Analyse KNOOPS ein „Zirkelschluss“ nicht ausschließen ließ (Viehhauser 2018, S. 148). KNOOP hatte sich für seine Auswahl des Textkorpus an Tageliedern, die er untersuchen wollte, auf Methoden der Textlinguistik gestützt, auch wenn er betont, dass Textanalysen nicht allein auf linguistische Verfahren zu gründen seien, sondern auch „umfassendere literaturwissenschaftliche Kategorien“ berücksichtigen müssten. Dies führt KNOOP nach Einschätzung VIEHHAUSERs dazu, einen multiperspektivischen Zugang für seine Gattungsbestimmung zu wählen, der sich nicht allein auf stilistische Auswertungen stützt, wie das häufig im Rahmen *stilometrischer* Ansätze der Digital Humanities der Fall ist (s. u.), sondern der auch inhaltliche Motive, sogenannte „Konstituenten“, in den Blick nimmt (ebd., S. 180 f.). Damit werden aber bereits interpretativ generierte Kategorien für die statistische Analyse herangezogen, die zeigen, dass *Analyse* im oben skizzierten Sinne kein einfaches Analysieren der Oberflächenstrukturen eines Textes darstellt. Auch wenn für eine quantitative, statistische Analyse von Textmaterial nun digitaltechnische Werkzeuge zum Einsatz kommen, lässt sich das Zusammenspiel technischer und menschlicher Akteure dabei nicht in klar voneinander separierbare Domänen, wie *Analyse* und *Interpretation*, aufteilen.

Kathrine HAYLES plädiert dafür, das häufig konstatierte Spannungsfeld zwischen algorithmischer Analyse und hermeneutischem *close reading* nicht überzubewerten, sondern die beiden als synergetische, und nicht sich ausschließende Ansätze zu verstehen (vgl. Hayles 2012b, S. 48). In der in den Digital Humanities prominent gewordenen Methode des *text mining* werden z. B. quantitative, statistische Verfahren dazu genutzt, sich dem Gegenstand auf neue, jedoch *nicht ausschließliche* Art und Weise zu nähern. Vielmehr können Resultate von Text-Mining-Analysen (*distant reading*) – zum Beispiel Muster im Sprachgebrauch sowie die Ermittlung von Worthäufigkeiten – auch als Grundlage bzw. Ausgangspunkt für idiosynkratisches, vertiefendes Lesen (*close reading*) sowie zur weiterführenden Interpretation des Materials genutzt werden (vgl. Evans/Rees 2012, S. 30; vgl. auch Hayles 2012b, S. 48 f.). Zu konturieren ist dabei aber nach wie vor, unter welchen Voraussetzungen menschliche Wissenschaftende von technischen Strukturvorschlägen profitieren können, wie im Folgenden anhand von Beispielen der *stilometrischen Analyse* diskutiert wird. Diese hat im Kontext der statistischen, quantitativen Textanalyse u. a. in den (digitalen) Literaturwissenschaften Bedeutung erlangt.

Stilometrische Verfahren basieren auf der algorithmischen Auswertung von Worthäufigkeiten, auf deren Grundlage „Texte mit ähnlichem Wortgebrauch nach statistischen Verfahren zusammensortiert werden“ (Viehhauser 2015, o. S.). Stilometrische Analysen können zum Erschließen von Texttypen und Genres, aber auch von *Autorinnen- und Autorenprofilen* genutzt werden (vgl. ebd., o. S.). Im Hinblick auf die Ermittlung von Autorenschaft habe es sich beispielsweise gezeigt, dass sich der Stil einer Autorin bzw. eines Autors u. a. in der *Verwendungshäufigkeit* unterschiedlicher Funktionswörter niederschlägt und das hat

zur Folge, dass das „Häufigkeitsprofil etwa der 100 häufigsten Wörter bereits bei kurzen Texten wie ein Fingerabdruck“ (Kuhn 2018, S. 18) auf eine mögliche Autorenschaft schließen lässt. Stilometrische Analysen können damit weiterführende Hinweise und Ausgangspunkte für die Einordnung auch von historischen Texten generieren. Zurückgegriffen wird dabei häufig auf Ähnlichkeitsmaße wie *Burrows Delta* (vgl. Burrows 2002), ein prominenter in stilometrischen Verfahren angewandter Algorithmus (vgl. Büttner et al. 2017).

Für die Literaturwissenschaften argumentiert Gabriel VIEHHAUSER, dass sowohl traditionelles literaturwissenschaftliches Forschen als auch stilometrische Verfahren „bei gegenseitiger Kenntnisnahme voneinander profitieren können“, das jedoch nur, wenn sich an die statistischen, quantifizierenden Verfahren auch Anschlüsse an aktuelle Fragen der traditionellen Literaturwissenschaft finden lassen (Viehhauser 2015, o. S.). In diesem Zusammenhang hat sich VIEHHAUSER u. a. mit den Potentialen der Stilometrie zur Bestimmung von Gattungen in der mittelhochdeutschen Lyrik beschäftigt. Er geht davon aus, dass stilometrische Analysen und deren stilistische Befunde sich zwar für die Kategorisierung insbesondere autorenbezogener Individualstile eignen, stilistische Analysen dagegen als Marker für die Unterscheidung von *Gattungen* nicht immer ausreichen.⁹⁶ Gattungen sind „vielschichtige Gebilde, die sich nicht oder nicht nur durch einen ähnlichen Stil auszeichnen, sondern auch durch ähnliche Thematik, ähnliche Figurenkonstellationen oder andere“⁹⁷, weshalb für die Differenzierung von Gattungen weitere literaturwissenschaftliche Interpretationskategorien berücksichtigt werden müssen (Viehhauser 2015, o. S.). Dennoch kann eine stilometrische Analyse auch hier erkenntnisweiternde Strukturvorschläge zur gattungsbezogenen Kategorienbildung liefern, wie VIEHHAUSER anhand eines Beispiels aufzeigt.

Mittelhochdeutsche Lyrik wird traditionell in die Unterarten Minnesang und Sangspruch unterteilt, eine Unterteilung die allerdings recht unscharf bleibt. Minnesang stellt hierbei die Dichtung dar, „in der von höfischer Liebe, der sogenannten Minne, die Rede ist“, während der Sangspruch nur „negativ definiert“ wird, nämlich als jene Lieddichtung, die nicht als Minnesang klassifiziert werden kann. Will man nun diese Unterscheidung mittels stilometrischer Analyse evaluieren, so befördert die Ermittlung von Worthäufigkeiten VIEHHAUSER zufolge ein „interessantes Ergebnis“ zutage, nämlich dass im Minnesang überdurchschnittlich häufig das Wort „ich“ bzw. „mir“ und „mich“ verwendet wird, also Personalpronomen der ersten Person. Dies entspräche der „gängigen Eischätzung des Minnesangs als Rollenlyrik, bei der der Sänger sein Ich zwischen den beiden Polen ‚ich minne‘“

⁹⁶ Gattungen sind daher auch nicht immer „deckungsgleich“ mit Textsorten. Während Textsorten sich über stilistische Eigenheiten unterscheiden lassen, sind diese für die Unterscheidung von Gattungen nicht immer ausreichend (Viehhauser 2015, o. S.).

⁹⁷ So kann sowohl ein Sonnett als auch der Alexanderroman eine Gattung darstellen, ersteres wird aber aufgrund formaler Kriterien, letzterer aufgrund der Hauptfigur unterschieden. Die literaturwissenschaftliche Gattungstheorie habe VIEHHAUSER zufolge bereits seit den 1970er Jahren betont, dass Gattungen vor allem „institutionell bestimmt“ sind, und damit letztlich „Ordnungsbegriffe“ darstellen, „die in die literarische Diskussion eingeführt werden und den Erwartungshorizont von Autoren und Lesern determinieren“ (Viehhauser 2015, o. S.).

und ‚ich singe‘ konstituiert“. Hier bestätigt die stilometrische Analyse also die Auffassung, dass es beim Minnesang weniger um die höfische Liebe an sich gehe als vielmehr um „das Singen davon, um das Ich, das sich als Liebender definiert“ (Viehhauser 2015, o. S.).

Anders beim Sangspruch: Hier ergibt die statistische Analyse kein eindeutiges Bild und bestätigt dessen Status als „negativ definierte[...] Textgruppe“ (Viehhauser 2015, o. S.). Während also die stilometrische Analyse aufgrund ihrer eigenen formalen Konstituiertheit auch den formalen, stark profilierten Charakter des Minnesangs als ein „streng formiertes Handeln mit ritualähnlichem Charakter“ auszuweisen vermag, produziert die statistische Analyse des Sangspruchs, der eher eine „lockere Form“ aufweist und sich in vielfältiger Weise formal äußern kann, erwartungsgemäß weniger klare Resultate. Aus dieser „Schieflage“ schließt VIEHHAUSER, dass die „einzelnen literarischen Gattungen im Mittelalter offenbar keine gleichgeordneten Kategorien darstellen“ und dass aus der Zeit sowohl stärker als auch weniger stark profilierte Textgruppen existieren. Dieser Schieflage lässt sich mithilfe rein stilometrischer, also statistischer, Analysen nicht auf den Grund gehen, denn das Beispiel zeige, dass die statistische Kategorienbildung allein der „Komplexität von Gattungskategorien“ nicht gerecht wird, eine stilometrische Analyse daher immer durch die Berücksichtigung anderer literaturwissenschaftlich bedeutsamer Interpretationskategorien, wie Thematik oder Figurenkonstellation, zu flankieren sei (ebd., o. S.). Zugleich vermochte es die stilometrische Analyse jedoch, den Befund einer solchen Schieflage zu bestätigen.

Im Kontext der explorativen Clusterbildung in den ‚digitalen Literaturwissenschaften‘, aber darüber hinaus auch im Kontext der Digital Humanities im Allgemeinen, hat sich zudem auch das sogenannte *Topic Modeling* als prominenter *distributioneller* Ansatz etabliert (vgl. u. a. Andorfer 2017; Fechner/Weiß 2017; Meeks/Weingart 2012). Es handelt sich dabei um ein clusterbildendes Verfahren, bei dem auf Grundlage eines abgeschlossenen Textkorpus Wörter mit semantischer Ähnlichkeit gruppiert werden können. Das Clustering erfolgt auf Basis der Annahme, dass „innerhalb eines Textabschnitts eher inhaltlich zusammengehörige Wörter auftreten“ (Kuhn 2018, S. 18 f.). Bei *Topics* handelt es sich, vereinfacht gesagt, um Wortlisten, die aufgrund der Häufigkeit des Auftretens der darin enthaltenen Worte in Bezug auf ein bestimmtes Thema ein *Topic* bilden (vgl. Andorfer 2017, o. S.). Topic-Modelle werden eingesetzt, um „für einen unbekannten Text eine ‚latente semantische Struktur‘ zu approximieren“ (Kuhn 2018, S. 19). Mithilfe von Topic Modeling lassen sich beispielsweise Textgruppen in einem Textkorpus auffinden, die eine ähnliche Thematik oder Motivik aufweisen. Dabei wird aufgrund des gemeinsamen Auftretens von Wörtern in einer Passage auf eine zugrundeliegende Thematik geschlossen (vgl. Viehhauser 2018, S. 186). Aber auch das auf unüberwachtem Lernen basierende Topic Modeling kommt dabei nicht ohne „interpretative Vorannahmen“ aus, denn der Algorithmus kann beispielsweise nicht über die *Anzahl* an Topics entscheiden, zu denen „Wortverteilungen in einem Korpus sinnvollerweise gruppiert werden sollen“ (ebd., S. 186). Dies kann nur durch den menschlichen Wissenschaffenden theoriebasiert oder auf Grundlage bereits vorhandenen Wissens über den zu analysierenden Korpus

festgelegt werden. Auch bleibt es Aufgabe der Forschenden, für die vom Algorithmus eruierten Topics, die zunächst nur in der Feststellung prozentualer Worthäufigkeiten bestehen, sinnvolle *begriffliche Beschreibungen* festzulegen (vgl. ebd., S. 186).

Auf die Notwendigkeit einer solchen ‚Qualifizierung‘ und damit interpretativen Verortung jeglicher quantitativer Bestimmungen weist auch Kurt LEWIN hin: „Zur Bestimmung der Quantität eines Objektes ist immer auch das Quale anzugeben, dessen Quantum bei diesem Objekt bestimmt werden soll. Denn die Quantität eines Objektes ist verschieden auch je nachdem, worauf sich bei ihm der quantitative Vergleich erstreckt“ (Lewin 1981, S. 97; zit. nach Mayring 2022, S. 20).⁹⁸ Auch HUBIG verweist in seiner Konturierung der Denkfigur der *Abduktion* als einem „implizite[n] Voraussetzen von Regeln“ (Hubig 1991, S. 157) darauf, dass „Häufigkeit und alle statistisch formulierbaren und operationalisierbaren Instanzen“ letztlich nur als „Indikatoren“ zu werten seien, welche erst durch ihre Interpretation zu relevanten Ergebnissen führen (ebd., S. 160). Die zuvor genannten Fallbeispiele demonstrierten Potentiale und Grenzen algorithmisch basierter Textanalysen. Deutlich wird, dass statistisch-quantitative (Cluster)-Analysen neue Perspektiven für das literaturwissenschaftliche ‚Lesen‘ aufzeigen, dabei aber für ein fundiertes Erkennen und Kategorisieren von Sinnstrukturen in literarischen Texten auch tradierte Interpretationskategorien mit einbezogen werden müssen. Insgesamt kann behauptet werden, dass das Potential des Natural Language Processing nicht so sehr darin liegt, Analysen vollständig zu automatisieren (vgl. Kuhn 2018, S. 39), sondern darin, neue Perspektiven auf Erkenntnisgegenstände aufzuzeigen, die allerdings der Interpretation bedürfen.

Die zuvor skizzierten Potentiale des Natural Language Processing werden heute auch im Kontext des sozialwissenschaftlich motivierten sinnstrukturierenden ‚Lesens‘ von Sprachäußerungen und Texten diskutiert. In seiner Beschäftigung mit Methoden „Tiefer Interpretation“ (vgl. Schäffer 2022b) unterscheidet Burkhardt SCHÄFFER dabei die auf Kodierung und Kategorienbildung sich kaprizierenden qualitativen Analyseverfahren von den heuristischen und rekonstruktiven Verfahrenslogiken, wie der Objektiven Hermeneutik (vgl. Oevermann 2013) oder der Dokumentarischen Methode (vgl. Bohnsack 2013). Letztere lassen sich SCHÄFFER zufolge als Verfahren „Tiefer Interpretation“ beschreiben (Schäffer 2022b, S. 39). Diese erfolgen dabei – analog zur Konzeptionierung des algorithmischen Deep Learning – als Prozesse der schrittweisen, aufeinanderfolgenden Interpretation der Datensequenzen, deren genaue Interpretationslogiken jedoch innerhalb sogenannter ‚Hidden Layer‘ (ebd., S. 40) verschwinden. Wie das algorithmische Deep Learning erfolgt auch die Tiefe Interpretation *rekursiv*, das heißt stets auf Grundlage vorhergehender Interpretationen, wobei die dabei angewandten Interpretationsmechanismen in der Regel Teil des *impliziten* Wissens der Forschenden und daher zunächst

⁹⁸ Dazu bemerkt MAYRING mit Bezug auf den Disput zwischen Verfechterinnen und Verfechter qualitativer und quantitativer Erkenntnismethoden, dass zu Beginn jeden wissenschaftlichen Vorgehens stets ein „qualitativer Schritt“ notwendig ist: „Ich muss erst wissen, was ich untersuchen will, ich muss es benennen“ (Mayring 2022, S. 20).

nicht transparent sind (vgl. Abschnitt 5.1.5). SCHÄFFER fragt nun, wie Verfahren des Natural Language Processing Interpretationsprozesse im Rahmen der Dokumentarischen Methode befördern können (vgl. Schäffer 2022b, S. 44). Konkret geht es ihm in dem von ihm vorgestellten Projekt darum, für eine Software zur Durchführung rekonstruktiver Verfahren (hier: DokuMet) Schnittstellen zur Integration von Sprachmodellen wie GPT3 zu entwickeln. Darüber sollen Datenmaterialien wie Interviews in „ausgewählte Deep-Learning-Anwendungen“ hochgeladen werden können, an die dann vor allem die für die qualitative Sozialforschung zentralen *offenen Anfragen* (ebd., S. 45) an Datenmaterialien gestellt werden können. Daraus resultierende „Anregungen“ des sprachmodellbasierten Textgenerators – mit HARRACH (2014) dessen „Strukturvorschläge“ – können dann von den Forschenden in nachfolgenden Interpretationsschritten „wieder händisch [...]“ weiterbearbeitet werden (Schäffer 2022b, S. 44). Als Beispiel im Zusammenhang einer Forschungsarbeit zur Coronapandemie nennt SCHÄFFER u. a. die offene Anfrage: „Finde heraus, ob und wie sich die Antworten von Christian Drosten mit der Zeit verändern“ (ebd., S. 45). Grundlage bildete der NDR-Podcast von DROSTEN, zu dem zum Zeitpunkt des Projekts bereits über 1000 Seiten Interviewmaterial existierten, das in seiner Gesamtheit laut SCHÄFFER von den menschlichen Forschenden „nie ‚durchinterpretiert‘“ werden könnte (ebd., S. 45). Wie an anderer Stelle bereits diskutiert, geht die Nutzung technischer Systeme gerade auch in der qualitativen Forschung mit erheblichen Aufwandsentlastungen einher und ist in diesem Sinne insofern als *produktiv* zu werten, als dass sie Forschenden dazu verhilft, Fragen stellen zu können, die aus forschungökonomischen Gründen in dem Umfang gar nicht erst gestellt würden (s. o.).

Die Offenheit der Anfragemöglichkeiten an sogenannte KI-basierte Dialogsysteme und Textgeneratoren besteht SCHÄFFER zufolge auch darin, dass es zunächst dem Programm überlassen werde, festzulegen, wie das technische System einzelne Termini der Anfrage „versteht“, so beispielsweise das Wort „verändern“ in der oben genannten Frage danach, wie Christian DROSTENS Antworten sich im Laufe der Zeit verändern. Da Forschende aber in der Regel diesen „Verstehensprozess“ des Systems nicht nachvollziehen können, bleibt es SCHÄFFER zufolge von höchstem, aber nur „empirisch zu lösende[n]“, Interesse, was Forschende schließlich mit diesen „geblackboxten“ Resultaten des Textgenerators anfangen können. Zentral ist für ihn die Frage, inwiefern sich das „Mensch-Maschine-Maschine-System“, also die Konstellation aus QDA-Software, KI-basierter Anwendung und menschlicher Interpretation „so aufeinander kalibrieren“ lassen, dass für die Forscherinnen und Forscher ein „Mehrwert“ entsteht (Schäffer 2022b, S. 45). Dies könnte beispielsweise dann der Fall sein, wenn sie den Interpretierenden *Abduktionsanlässe* bieten (vgl. auch Abschnitt 5.2.2), und das bedeutet in Rekurs auf Charles Sanders PEIRCE vor allem das Hervorbringen *überraschender* Perspektiven auf Reflexionsgegenstände. Der einer Abduktion zugrundeliegende Verdacht, der nach Uwe WIRTH einen „quasi detektivischen Inferenzprozess“ (Wirth 2008, S. 21) in Gang setzt, kann – so die Annahme – auch von Ergebnissen insbesondere „neugieriger“ (Harrach 2014) Systeme maschinellen Lernens angestoßen werden. Die vom technischen System vorgenommene Rekontextualisierung des zu untersuchenden Materials bewirkt dabei ein technisch induziertes

“putting together what we had never before dreamed of putting together” (Peirce 1960a, 5.181, S. 113) und kann so der Genese neuer Interpretationsvorschläge bzw. höherstufiger Strukturvorschläge (vgl. Harrach 2014, S. 282) Vorschub leisten. Die einzelnen Komponenten der Hypothese existierten zwar bereits im Geist des Forschenden, der von PEIRCE beschriebene, hier aber technisch induzierte, „Gedankenblitz“ führt nun jedoch zur Idee, diese interpretativ neu zusammenzufügen, woraus sich eine neue *Vermutung* bzw. Hypothese ergibt.

Auch für die Verfahrenslogik der Tiefen Interpretation sind Abduktionen von entscheidender Bedeutung. Was SCHÄFFER als Tiefe Interpretation bezeichnet, basiert auf methodisch fundierten Interpretationsschritten, die sequenziell auszuführen sind, so beispielsweise ist es bei der Analyse im Rahmen der Dokumentarischen Methode von Bedeutung, in welcher Beziehung eine Aussage im Datenmaterial zur zuvor gemachten Aussage steht. Die schrittweise, sequenzielle Interpretation ist dabei stets mit abduktiven Schlussfolgerungen und Vermutungen der Interpretierenden zwischen den einzelnen Analyse-schritten verbunden, bei denen oft nicht klar ist, wie die Interpretierenden zu ihren Schlussfolgerungen gelangen. LIEDER und SCHÄFFER zufolge beziehe sich das Wissen um die sequenziellen Interpretationsregeln zwar auf explizites methodisches Wissen, *wie* genau dabei aber die Interpretierenden jeweils Schlussfolgerungen abduzieren, ist nicht immer ersichtlich und deutet, wie bereits an anderer Stelle argumentiert, auf praktische, im impliziten Wissen der Forschenden verankerte Kenntnisse (vgl. Schäffer/Lieder 2023, S. 113). Im Zusammenhang der Abduktion liegt für SCHÄFFER nun der „Reiz“ der hybriden technisch-menschlichen Wissensproduktion in der Kombination intuitiver und abduktiver menschlicher Interpretationsleistungen mit den Fähigkeiten der technischen Systeme zur „komplexen Verarbeitung und überraschenden Rekontextualisierung“ großer Datenmengen (Schäffer 2022b, S. 46). Hier lässt sich argumentieren, dass die produktiven, performativen Eigenschaften algorithmischer Systeme dem klassischen methodischen Vorgehen im Rahmen rekonstruktiver Verfahren Tiefer Interpretation insbesondere durch Überraschungsmomente, die durch die algorithmische Rekontextualisierung großer Datenmengen entstehen, neue Erkenntnisperspektiven eröffnen und menschlichen Interpretierenden durch ihre *Irritationspotentiale* zu „abduktiven Sprüngen“ („*abductive leaps*“) verhelfen können. In seiner Funktion als „Interpretationsgenerator“ („interpretative generator“) liegen dabei sowohl Potentiale als auch Herausforderungen zum einen darin verborgen, dass das technische System in der Lage ist, eine unendliche Anzahl mehr oder weniger genauer Interpretationen zu produzieren, durch seine Irritationspotentiale aber auch dazu dienen kann, „kreative Blockaden“ der Forschenden zu lösen (Schäffer/Lieder 2023, S. 120). Denkbar ist die Genese von überraschenden und irritierenden Resultaten dabei auch aufgrund der in Rekurs auf YUK HUI (2019) bereits ausgeführten rekursiven und kontingennten Dimensionen algorithmischer Verarbeitungsprozesse (vgl. Abschnitt 3.3). Insbesondere die aus rekursiven Prozessen entstehenden Emergenzen und die Integration probabilistischer Verfahren, wie sie bei der Entwicklung Künstlicher Neuronaler Netze und Deep Learning eine Rolle spielen, können, so die Annahme, genau solche ‚Überraschungsmomente‘ in Datenmaterialien zutage befördern. Ob technisch

induzierte Strukturvorschläge aber tatsächlich zu Abduktionsanlässen werden, hängt letztlich von der Interpretation der Wissenschaffenden selbst ab, die aber aufgrund des Vorwissens und der Vorurteile der Interpretierenden niemals contingent bzw. „zufällig“ sein kann (vgl. Abschnitt 4.1). Hinzu kommt, wie bereits argumentiert, dass auch die probabilistischen Verfahren stets auf Datenstrukturen angewandt werden, deren Natur alles andere als „zufällig“ ist: Auch diese können stets Vorurteile bzw. Biases enthalten, die trotz Rekontextualisierung und zufallsbasierter Prozessierung reproduziert und weitergebracht werden können (vgl. Abschnitt 5.1.4).

Entscheidend ist daher die Entwicklung eines reflexiven Verhältnisses zwischen Mensch und technischem System, das sich im Falle auf maschinellem Lernen basierender Dialogsysteme in Rekurs auf die Arbeit von SCHÄFFER und LIEDER durch iterative „Austauschprozesse“ schrittweise etablieren lässt. Die Autoren schlagen in diesem Zusammenhang den Begriff der „verteilten Interpretation“ (“distributed interpretation”) vor (Schäffer/Lieder 2023, S. 120), insofern dabei Verstehens- und Erkenntnisprozesse der Forschenden in Bezug auf das Datenmaterial im iterativen „Austausch“ mit dem technischen System ermöglicht werden. SCHÄFFER und LIEDER (2023) wie auch ZHANG ET AL. (2023) stellen in diesem Kontext vor allem die Bedeutung des *Prompt Engineering* in den Fokus, auf das an dieser Stelle nur kurz eingegangen werden kann. Wird ein Textgenerator, wie im Beispiel von SCHÄFFER und LIEDER, zur Auswertung von Transkripten herangezogen, so muss er von Forschenden mittels Prompt Engineering zunächst auf das spezifische Datenmaterial eines Forschungsprojekts hin „trainiert“ werden. Dabei besteht die Herausforderung vor allem darin, Eingaben so zu modifizieren, dass zunächst anhand von Testmaterial zufriedenstellende Resultate generiert werden (vgl. u. a. Schäffer/Lieder 2023, S. 115). Der verteilte Interpretationsprozesses, so meine Deutung, beginnt also bereits vor der eigentlichen Auswertung der Daten und deutet auf dessen tentativen, experimentellen Charakter, denn Interpretation meint hier u. a. einen iterativen, reziproken Prozess, in dem Mensch und technisches System sich schrittweise aufeinander „einstellen“. In diesem schrittweisen „Aufeinandereinstellen“ lässt sich auch das oben postulierte reflexive Verhältnis vom Menschen zum technischen System verorten, denn insbesondere vor dem Hintergrund, dass Teilprozesse der algorithmischen Verarbeitung und Genese von Sinnstrukturen für den Forschenden häufig undurchschaubar bleiben, kann ein „reflexives Verhältnis“ in der Form nur handlungsorientiert, und das heißt hier durch ein schrittweises Ausprobieren fallbezogener Ursache-Wirkungs-Beziehungen, erfolgen. Im hier aufgezeigten Beispiel beträfe dies das schrittweise Aufeinandereinstellen von Prompt, Strukturvorschlag des Systems und Interpretation durch die Forschenden. Zugleich markiert der genannte Prozess des „Sich-Aufeinandereinstellens“ auf menschlicher Seite einen interessengeleiteten Prozess der reflexiven Auseinandersetzung mit dem technischen System, der auch für Bildungsprozesse im Rahmen der Technikbildung als Vorbild dienen könnte (vgl. Abschnitt 6.3).

An dieser Stelle lässt sich zusammenfassen, dass die Bedeutung des Natural Language Processing für Erkenntnisprozesse in den Geisteswissenschaften sowie in der qualitativ orientierten Forschung technisch betrachtet aus der Möglichkeit erwachsen ist, Wortbeziehungen und die größere Kontextabhängigkeit von Wörtern mittels maschinellem Lernen in einem *generischen* Zahlen- bzw. Vektorraum verorten zu können, der von einem Computer auch semantisch prozessierbar ist. Digitale Technik kann dabei als generativ und produktiv gewertet werden, insofern sie zunächst über Verfahren des maschinellen Lernens einen übergreifenden *Erkenntnisraum* als generischen Zahlen- bzw. Vektorraum generiert. Daran anknüpfend werden innerhalb der digitaltechnischen Strukturen auch die notwendigen Anwendungen und Werkzeuge zur Verfügung gestellt, wie zum Beispiel Textgeneratoren, um *innerhalb* dieses Vektorraums Sinnstrukturen in unstrukturierten Daten, wie Texten, erschließen zu können. Darin liegt meiner Ansicht nach die bedeutendste Form der *Produktivität* digitaler Technik für die Geisteswissenschaften, dann nämlich, wenn sie es ermöglicht, Prozesse tiefer Interpretation auch in der Breite, also über große Datenmengen hinweg, zu ermöglichen. Bei dieser Einschätzung greife ich auf ein Argument von Lev MANOVICH zurück: MANOVICH unterscheidet in seinem Beitrag *Trending* (2014) zwischen Oberflächendaten und tiefen Daten und erklärt, dass die Verarbeitung von Oberflächendaten meist mit statistischen, mathematischen oder eben digital gestützten algorithmischen Vorgehensweisen einhergeht, während die Verarbeitung *tiefer Daten* mittels hermeneutischer, interpretativer Methoden erfolgt, wie sie traditionellerweise eher in das Methodenspektrum der Geisteswissenschaften und der qualitativ orientierten Sozialwissenschaften fallen (vgl. Manovich 2014, S. 67). Der Terminus *Oberflächendaten* kennzeichnet die Breite des damit verbundenen Datensatzes, während der Terminus *tiefe Daten* sich eher auf die Tiefe der menschlichen Analysemöglichkeiten eines eher nicht breiten Datensatzes bezieht. Im Rahmen der algorithmischen Verarbeitung großer Datensätze entsteht jedoch MANOVICH zufolge so etwas wie eine ‚Tiefe in der Breite‘ in dem Sinn, dass „die Quantitäten ‚tiefer‘ Daten, die in der Vergangenheit von wenigen zu bekommen waren, sich nun automatisch über viele abrufen lassen“ (ebd., S. 80). Ein großes Potential, das sich meines Erachtens vor allem mit den neuen auf maschinellem Lernen basierenden Techniken für das geisteswissenschaftliche und sozialwissenschaftliche Arbeiten ergibt, liegt also vornehmlich darin, dass *tiefergehende Sinnstrukturen* in unstrukturierten, narrativen Daten in Prozessen „verteilter Interpretation“ auch in *großen Datenmengen* eruierbar werden.

Mit Verweis auf Bruno LATOUR (1998) lässt sich SCHÄFFER zufolge von einer Hybridkonstellation sprechen, bei der menschliche Akteure und technische Aktanten „zusammen etwas Neues entstehen lassen“, das ohne technische Beteiligung nicht entstünde (Schäffer 2022b, S. 46). Der hybride Charakter der Genese wissenschaftlichen Wissens im Kontext digitaltechnischer Strukturen ist allerdings nicht nur auf die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine zu beziehen, sondern verweist, wie bereits erwähnt, auch auf die durch die Technik entstehende Durchlässigkeit zwischen Methodologien, Forschungslogiken und Disziplinen, durch die mitunter auch tradierte epistemologische Selbstverständnisse aufgeweicht werden, so beispielsweise bezüglich der Frage, inwie-

fern sich aus algorithmisch vollzogenen quantitativen Analysen großer Datenmengen Erkenntniszugewinne für die Geisteswissenschaften generieren lassen. Diese postulierte Durchlässigkeit gilt aber auch umgekehrt: Inwiefern können in etwa auch *sprach- und textgenerierende* algorithmische Verfahren Wissenschaftlern in Biologie oder Biochemie dazu verhelfen, den menschlichen Code des Lebens zu „lesen“?

5.2.4 Vom Datum zum Protein

Es kommt nicht von ungefähr, dass die zunehmende Bedeutung des numerischen „Lesens“, wie es im vorhergehenden Abschnitt im Kontext der Geistes- und Sozialwissenschaften beispielhaft skizziert wurde, längst auch in den Naturwissenschaften von Bedeutung ist. Während numerische, quantifizierende Analyseverfahren in den Geisteswissenschaften durch die Digital Humanities eine Renaissance erfuhren, sind umgekehrt auch *sprachbasierte* Ansätze auf Grundlage digitaler Techniken in der Biologie oder Chemie längst etabliert. Auch hier trägt der generische Sprach-, Repräsentations- und Operationsraum digitaler Technik zu einer verstärkten epistemischen Durchlässigkeit bei, tradierte disziplinäre Selbstverständnisse verlieren dadurch an Rigidität und werden „hybrider“. Zugleich – und dies bildet den thematischen Kern des vorliegenden Abschnitts – leistet die Generizität digitaler Forschungstechnik in der Chemie, Biologie, Biochemie und Genetik auch einer Generativität Vorschub und befördert neue *synthetische* Formen der Erkenntnisarbeit (vgl. Gramelsberger/Bexte/Kogge 2014), wie an den folgenden Beispielen aus der Chemie deutlich werden soll. Gerade das Forschen in der Chemie verschob sich in den letzten Jahrzehnten zunehmend „vom Hantieren mit Substanzen im Reagenzglas hin zur Erforschung des digitalen Terrains virtueller Moleküle und deren prognostizierter Eigenschaften“ (Gramelsberger 2010, S. 279). Dabei erwies sich die Chemie in vielerlei Hinsicht bereits vor ihrer Verlagerung in die „Computerlabore“ als *synthetische* Forschung, deren Kernaufgabe in der „Synthese neuer Verbindungen“ bestand: „In wichtigen Teilgebieten der Synthesecemie ist man heute mit eindrucksvoller Zuverlässigkeit in der Lage, sowohl noch unbekannte Verbindungen als Syntheseziele zu formulieren als auch gangbare Syntheseschritte zu deren Realisierung vorauszuplanen“ (Jansen/Schön 2014, S. 107 f.), schreiben Martin JANSEN und Christian SCHÖN. Die Möglichkeiten des „virtuellen“ Synthetisierens chemischer bzw. biologischer Stoffe im „Computerlabor“ erreicht heute durch den Einzug des maschinellen Lernens eine weitere Entwicklungsschwelle, die die Produktivität digitaltechnischer Erkenntnisträume erheblich ausweitet, wie im Folgenden im Kontext des Proteindesigns im Schnittfeld von Biochemie, Molekularbiologie und Bioinformatik beispielhaft aufgezeigt werden soll.

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt skizziert, haben Entwicklungen in der natürlichen Sprachverarbeitung in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Jüngste Entwicklungen, u. a. transformerbasierter Architekturen im Natural Language Processing, trugen zur Entwicklung von Sprachmodellen bei, durch die Texte in menschenähnlicher Sprachqualität generiert werden können, die wiederum in zahlreiche alltagstaugliche Werkzeuge und Assistenzsysteme Eingang fanden (vgl. Ferruz/Schmidt/Höcker 2022,

S. 1). Im wissenschaftlichen Kontext kommen sie heute nicht nur in der Text- und Sprachanalyse zum Einsatz (vgl. Abschnitt 5.2.3), sondern auch in der Biochemie bzw. Molekularbiologie, hier insbesondere im Feld des sogenannten *Proteindesigns*. Proteine können als „machinery of life“ (Elnaggar et al. 2022, S. 7112) bezeichnet werden, sie sind zentrale Bausteine des Lebens, die zahlreiche Funktionen in den Körpern von Lebewesen erfüllen. Mithilfe von Techniken des maschinellen Lernens versuchen Forschende heute neuartige Proteine für spezifische Zwecke, wie in etwa zur Lösung bestimmter Umweltprobleme bzw. biomedizinischer Probleme, zu entwickeln (vgl. Fischer 2023, o. S.). Für das KI-basierte Proteindesign und die Vorhersage von Proteinstrukturen mit dem Modell AlphaFold wurden John JUMPER, Demis HASSABIS und David BAKER 2024 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet (vgl. Fischer 2024, o. S.).

Die Idee, Proteine künstlich zu erzeugen, ist zunächst nicht neu,⁹⁹ im Rahmen der ‚klassischen‘ Proteinsynthese mussten Forschende allerdings die damit zusammenhängenden chemischen und physikalischen Wechselwirkungen genau kennen, um neue Moleküle zu synthetisieren. Sie arbeiteten daher vorzugsweise mit „gut verstandenen Strukturelementen“, konnten bisher aber die besonders anspruchsvollen, komplexen Muster der Proteinmoleküle, wie sogenannte „Taschen“, „Löcher“ und „Schleifen“, nicht abbilden (Fischer 2023, o. S.). Insbesondere „neugierige“ (Harrach 2014) – hier unüberwachte – Formen maschinellen Lernens ermöglichen heute dagegen das Erkennen bzw. Sichtbarmachen neuartiger, noch unerkannter oder bisher unzugänglicher Proteinstrukturen, z. B. indem sogenannte “dark’ areas” des Proteinraums algorithmisch exploriert werden und so der Raum der “natural superfamilies” (Ferruz/Schmidt/Höcker 2022, S. 2) erweitert wird.

Das im Folgenden vorgestellte Beispiel bezieht sich auf das Modell ProtGPT2, das als Möglichkeits- und Erprobungsraum für das Synthetisieren *neuarter* Proteinstrukturen diskutiert wird. Bei ProtGPT2 handelt es sich um ein Large-Language-Modell (LLM), das ähnlich wie ChatGPT funktioniert, jedoch im Kontext der Proteinsynthese trainiert wurde (vgl. Fischer 2023, o. S.). Das Modell ist dadurch in der Lage, Proteinsequenzen in Analogie zu den Prinzipien natürlich vorkommender Proteinsequenzen zu erzeugen. Beim bereits erwähnten Modell ProtGPT2 handelt es sich um ein autoregressives Transformer-Modell mit 738 Parametern, das von einem Forschendenteam der Universität Bayreuth auf der Basis von 50 Millionen *nichtannotierten* Aminosäuren-Sequenzen entwickelt wurde (Ferruz/Schmidt/Höcker 2022, S. 2). Bei nichtannotierten Aminosäuren handelt es sich um solche, die u. a. bioinformatisch noch nicht identifiziert bzw. markiert wurden. In der Molekularbiologie ist eine solche Markierpraxis zentral für die sukzessive Erschließung der Struktur und Funktion von Proteinen (vgl. Gabanyi/Berman 2015, S. 3).¹⁰⁰ Forschungsleitende Frage des Forscherteams war es, ob ein generatives Modell

⁹⁹ Für die sogenannte *gerichtete Evolution*, die eine solche Technik des Proteindesigns darstellt, erhielt die Forscherin Frances ARNOLD im Jahr 2020 den Nobelpreis für Chemie (vgl. Fischer 2023, o. S.).

¹⁰⁰ Proteinstrukturen werden mit weiterführenden Informationen annotiert, um so einen besseren Einblick in die Beziehung von Struktur und Funktion von Proteinen zu erhalten. Hierfür existieren kuratierte Annotationsdatenbanken, in denen Fakten und Beobachtungen zu Proteinstrukturen kollaborativ festgehalten und zugänglich gemacht werden (vgl. Gabanyi/Berman 2015, S. 3).

entwickelt werden kann, das in der Lage ist, die ‚Sprache‘ der Proteine zu erlernen, daraufhin stabile Proteine zu generieren und zugleich zu ‚verstehen‘, in welcher Beziehung die künstlich erzeugten Proteinsequenzen zu natürlichen Proteinsequenzen stehen, so in etwa, ob sie bisher nicht erforschte Bereiche des Proteinraums abdecken (vgl. Ferruz/Schmidt/Höcker 2022, S. 2). Mit ProtGPT2 konnten schließlich Proteinsequenzen mit Aminosäureeigenschaften errechnet werden, die mit natürlichen Sequenzen vergleichbar sind, während sie sich zugleich aus evolutionärer Perspektive vom aktuellen Proteinraum unterschieden (vgl. ebd., S. 2).¹⁰¹ Die durch das Transformer-Modell generierten Proteine zeigen dabei Eigenschaften natürlicher Aminosäuren und Proteinsequenzen, wie sie in bereits vorhandenen Protein-Datenbanken zu finden sind und scheinen mit natürlichen Sequenzen entfernt verwandt zu sein (vgl. ebd., S. 1).

Für das im vorliegenden Abschnitt zentrale Interesse, nämlich die Skizzierung generativer bzw. produktiver Möglichkeiten digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit, ist vor allem der sprachbasierte Modus der hier beispielhaft aufgeführten Erkenntnispraktik von entscheidender Bedeutung. Dieser ist deshalb möglich, da hier in der Modellbildung auf Analogien zwischen Proteinsequenzen und menschlicher Sprache zurückgegriffen wird, wobei den auf Large Language Models basierenden Techniken eine Übersetzerfunktion zukommt. Proteinsequenzen können als Aneinanderreihung von Buchstaben aus einem chemisch definierten ‚Alphabet‘ beschrieben werden. Gebildet wird dieses Alphabet durch die grundlegenden biochemischen Bausteine, die Aminosäuren, aus denen Proteine zusammengesetzt sind (vgl. Ferruz/Schmidt/Höcker 2022, S. 1). Dabei bildet der Buchstabencode für Aminosäuren in Proteinen – z. B. A für Alanin, V für Valin usw. – analog zu den Buchstaben im Sprachalphabet die diskrete Datenbasis der über das Sprachmodell vollzogenen Transformationen von Zeichenketten in neue Zeichenketten. Bei den durch Buchstabenzeichen codierten Aminosäuren, die sich zu Ketten formieren, handelt es sich also um Zeichenketten (z. B. entspricht eine Helixstruktur einem Wort), die nun statt einer sprachsinnhaften eine biologisch-funktionelle Bedeutung beinhalten. Ähnlich wie bei menschlichen Sprachen ordnen sich diese Buchstaben zu sekundären Strukturelementen („Wörtern“), die sich wiederum zu Domänen („Sätzen“) zusammensetzen, welche eine bestimmte Funktion („Bedeutung“) übernehmen. Eine der frappierendsten Ähnlichkeiten zwischen natürlicher Sprache und ‚Proteinsprache‘ besteht darin, dass Proteinsequenzen wie natürliche Sprachen informationsvollständig sind: Sie speichern Struktur und Funktion vollständig in ihrer Aminosäurenanordnung (Ferruz/Schmidt/Höcker 2022, S. 1; Übers. OM; vgl. auch Elnaggar et al. 2022, S. 7112 f.). Wie die Bedeutung eines Satzes aus der Zusammensetzung der darin enthaltenen Worte hervorgeht, markiert auch die Struktur eines Proteins dessen Funktion: Aminosäuren bilden zunächst eindimensionale Sequenzen, die sich schließlich zu dreidimensionalen Strukturen umformen (3D-Struktur), die wiederum spezifische Funktionen erfüllen, das heißt also: “sequence determines

¹⁰¹ Das Modell und die Datensätze sind im *Hugging-Face-Repository* unter huggingface.co/nferruz/ProtGPT2 verfügbar (vgl. Ferruz/Schmidt/Höcker 2022, S. 2).

structure determines function” (Elnaggar et al. 2022, S. 7112). Die Struktur eines Proteins zu verstehen, erlaubt es also, deren Funktion zu verstehen.

Das Zusammenspiel von Struktur und Funktion bildet zugleich die Grundlage der Transformationen, die das maschinelle Lernen für die Genese von Proteinen mit sich bringt. Die Potentiale der transformerbasierten Techniken des Natural Language Processing bestehen dabei darin, auf einer wahrscheinlichkeitsbasierten Erfassung der ‚sprachlichen‘ Strukturiertheit von Äußerungen – hier der Proteine – hin trainiert werden zu können, und zwar ohne, dass jenen lernenden Algorithmen vorher Struktur und ‚Grammatik‘ jener ‚Proteinsprache‘ programmiertechnisch expliziert werden muss. Da beispielsweise ProtGPT2 auf Basis des gesamten Sequenzraums und damit in der größtmöglichen Breite trainiert wurde, können die neu generierten Sequenzen jede Region abdecken, einschließlich solcher, die im Kontext des Proteindesigns als sehr komplex gelten, wie zum Beispiel sogenannte „all- β -Strukturen“ oder Membranproteine. Über die sprachmodellbasierte Anwendung, in diesem Fall ProtGPT2, kann außerdem nach Proteinen mit Ähnlichkeiten zu natürlichen Proteinen gesucht werden, um auf dieser Basis eine bestimmte biochemische Funktion eines natürlichen Proteins zu verbessern oder zu verändern. Zudem kann eine Analyse der über das GPT-Modell erstellten „Proteinbibliotheken“ dazu beitragen, dass auch Proteine mit Faltungen identifiziert werden können, die in den bisherigen Datenbanken noch nicht erfasst sind, oder dass Proteinfunktionen ‚entdeckt‘ werden können, die keine entsprechenden Gegenstücke im bisher erschlossenen natürlichen Proteinraum haben (vgl. Ferruz/Schmidt/Höcker 2022, S. 6 f.).

Während auch über klassische Verfahren neue Proteinstrukturen generiert werden können (s. o.), besteht das generative Potential der transformerbasierten Techniken maschinellem Lernens jedoch darin, dass sich darüber eine größere Vielfalt potentieller Proteinsequenzen untersuchen bzw. generieren lässt. Hierüber ließe sich ein „Sprung in ganz neue Bereiche“, die „die Natur noch nicht getestet hat“ realisieren, darunter „exotische Strukturen und Eigenschaften [...], auf die das Leben in vier Milliarden Jahren Evolution nicht gekommen ist“ (Fischer 2023, o. S.). Von Interesse ist hierbei vor allem die Fähigkeit algorithmischer Verarbeitungsprozesse zur Erkundung *neuer Proteinbereiche* im Zusammenhang eines nicht-hypothesengetriebenen Experimentierens (vgl. Hengge 2019, S. 130–132). Ziel dabei ist die Erzeugung sogenannter „De novo“-Strukturen (Watson et al. 2023, S. 1089), also solcher Proteinstrukturen, die in der natürlichen Lebenswelt bisher nicht auffindbar waren, aber perspektivisch dazu beitragen könnten, beispielsweise Plastikabfall zu metabolisieren oder neue Vakzine zu generieren (vgl. Müller 2022, o. S.).¹⁰² Hier liegt das spezifisch *Generative* der KI-Techniken für die wissenschaftliche

¹⁰² Für die Genese von De-novo-Proteinen sind jenseits der sprachgenerierenden Large-Language-Models auch *bildgenerierende* und *bildprozessierende* Verfahren von Bedeutung. Neuere Verfahren basieren u. a. auf *Diffusionsmodellen*, das heißt auf neuronalen Netzwerken zur Diffusion (vgl. Watson et al. 2023), über die Bilderkennungsmechanismen trainiert werden können. Genutzt werden diese Verfahren u. a. in den bekannten Bildgeneratoren wie *Stable Diffusion* (stablediffusionweb.com) oder *DALL-E*

Erkenntnisarbeit nicht so sehr in ihren rückwirkenden Erklärungspotentialen, sondern im *synthesierenden* Potential ihrer technikimmanenten *Rekontextualisierungsmöglichkeiten*.

Bei der Genese solcher De-novo-Proteine wird u. a. auch auf die generativen Potentiale sogenannter algorithmischer ‚Halluzinationen‘ zurückgegriffen. Im aktuellen öffentlichen Diskurs zur Evolution textgenerierender Systeme ist die den technischen Systemen eigene Tendenz zum ‚Halluzinieren‘ in der Regel negativ konnotiert (vgl. Smith 2023, o. S.), insofern sich die von Dialogsystemen wie ChatGPT generierten ‚Antworten‘ nicht selten als falsch erweisen. Im Kontext des Proteindesigns werden Halluzinationen dagegen als *erkenntnisweiternde* und produktive technische Erkenntnisstrategie diskutiert (vgl. u. a. Wang et al. 2022). Dabei „fabuliert“ ein autoadaptives algorithmisches System, indem es solange ausprobiert, „was funktioniert“, bis plausible Proteinstrukturen gefunden werden (Fischer 2023, o. S.). De-novo-Strukturen entstehen dabei auch deswegen, da die Systeme Zufallsmechanismen und damit *Kontingenz* integrieren (vgl. Abschnitt 3.3). Das auf Deep-Learning-Verfahren beruhende neuronale Netzwerk zur Vorhersage von Proteinstrukturen *trRosetta* beispielsweise maximiert auf der Grundlage von Monte-Carlo-Stichproben die Wahrscheinlichkeit für den Fall, dass eine gegebene Aminosäuresequenz sich zu einer 3D-Struktur entfaltet (vgl. Wang et al. 2022, S. 387). Die Strukturvorhersagen von *trRosetta* bezeichnen WANG ET AL. deswegen als „Halluzination“, da das Verfahren Lösungen generiert, die das neuronale Netzwerk zwar als *ideale Proteine* betrachtet, die jedoch keinen bekannten natürlichen Proteinen entsprechen (vgl. ebd., S. 387; Übers. OM). Obwohl also die ‚halluzinierten‘ De-novo-Strukturen Topologien natürlicher Proteinklassen ähneln, entsprechen sie keinen bislang bekannten nativen Proteinen. So fehlen den De-novo-Proteinen häufig „flexible Abschnitte ohne Sekundärstruktur-Elemente“ und damit solche Entitäten, die „eine enzymatische Funktion erst möglich machen“ (Müller 2022, o. S.). Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass die natürliche Evolution bisher nur einen recht kleinen Teil eines möglichen Protein-

(openai.com/dall-e-3). Für die Diffusion wird ein neuronales Netzwerk auf einem realen Datensatz (z. B. Fotos oder von Menschen erzeugte Bilder) trainiert, anschließend wird dem Trainingsdatensatz ein GAUßsches Rauschen hinzugefügt (Vorwärtsdiffusion). Aufgabe des ‚lernenden‘ neuronalen Netzwerks ist es nun, den Datensatz per Wahrscheinlichkeitsberechnungen wieder zu entrauschen (Rückwärtsdiffusion). Dabei entstehen aus den unterschiedlichen Arten des möglichen (zufälligen) Rauschens auch *neue* Bilder, die den Bildern des Trainingsdatensatzes zwar ähneln, diese aber *nicht kopieren* (vgl. Lowe 2023, o. S.). Entrauschende diffusionsprobabilistische Modelle besitzen Eigenschaften, die sich gut für das Protein-Design eignen und wurden bereits in entsprechende Verfahren implementiert, darunter *RFDiffusion* (vgl. Watson et al. 2023, S. 1089). *RFDiffusion* beruht auf dem Strukturvorhersagemodell *RosettaFold* zur Vorhersage der dreidimensionalen Struktur von Proteinen (vgl. u. a. Baek et al. 2021), das als Entrauschungsmechanismus für die Rückdiffusion in das Diffusionsmodell eingefügt wurde (vgl. Watson et al. 2023, S. 1090). Bei der Adaption diffusionsprobabilistischer Verfahren im Proteindesign wird – vereinfacht gesagt – die Vorwärtsdiffusion mit echten Proteinstrukturen aus einer Proteindatenbank durchgeführt. Der Schritt der Entstörung bzw. der Entfernung des Rauschens (Rückwärtsdiffusion) erfolgt dann so lange, bis der Algorithmus in der Lage ist, *plausible* Proteinstrukturen auszugeben, die jedoch nicht zwingend solche abbilden, die in entsprechenden Datenbanken bereits vorhanden sind oder natürlicherweise vorkommen.

raums erschlossen hat, dabei könnten medizinisch und biotechnologisch nützliche Funktionen aber gerade in den bisher noch nicht gefundenen Strukturbereichen des Proteinraums liegen (vgl. ebd., o. S.).

Insgesamt können die durch transformerbasierte algorithmische Architekturen ‚halluzinierten‘ Proteinstrukturen als Ausdruck produktiver Erkenntnisarbeit innerhalb digital-technischer Systeme gedeutet werden, die einer sich mit dem digitalen Wandel verstärkenden *synthetischen* Forschungslogik folgen (vgl. Gramelsberger 2014, S. 17; vgl. auch Abschnitt 5.2.1). Das Beispiel des Proteindesigns zeigt auch, dass die digitaltechnisch erzeugten generischen Informationsstrukturen nicht nur zur Durchlässigkeit zwischen sprachbasierten und numerischen Erkenntnislogiken beitragen, sondern dass sie mit dieser Durchlässigkeit auch in der Lage sind, „Potenzen bereitzustellen für freibleibende Zwecke“ (Freyer 1970, S. 139; vgl. auch Freyer 1963, S. 167). Denn dass Proteine sich technikvermittelt ‚lesen‘ lassen wie ein Text, bedeutet u. a. auch, dass dieser Code sich auch ‚umschreiben‘ lässt wie ein Text.

Allerdings haben viele der ‚In-silicio-Experimente‘ in Molekularbiologie, Chemie und Biochemie, in denen neuere KI-Techniken zum Einsatz kommen, den stets nur aufwändig herstellbaren „Erstkontakt mit der Wirklichkeit noch vor sich“, denn es ist eine Sache, ein Protein am Computer zu entwerfen, eine andere dagegen, „ob das Ergebnis dann auch in einer echten Umgebung das tut, was es soll“ (Fischer 2023, o. S.). Andererseits haben gerade in diesen Forschungsfeldern viele Entdeckungen dennoch bereits den Weg aus dem „Zeichenraum des Computers“ (Gramelsberger 2010, S. 280) in die physische Lebenswelt gefunden, so beispielsweise im Kontext der Medikamente- oder Impfstoffentwicklung (vgl. Deutscher Ethikrat 2023, S. 197). Technisch möglich wird dies, wenn sich physisches Material in immer höherer Auflösung, also bis hin in den Nanobereich, bearbeiten und so manipulieren lässt, wie dies auch virtuell im Rahmen der symbolischen Informationsstrukturen innerhalb des Computers möglich ist: „Die digitale Kette reicht dann vom Computer, über automatisierte Fertigungsmaschinen, in die Lebenswelt. 3D-Printing, wie es im Modellbau der Architektur, aber auch in der Herstellung von Haut auf Basis lebender Zellen zunehmend Einsatz findet, wäre ein Beispiel für das realweltliche Ende einer solchen digitalen Kette“. In diesem Modell werden jene „Rekombinationen, Neukonfigurationen und Extrapolationen“ (Gramelsberger 2010, S. 280 f.), die im symbolischen Erkenntnis- und Syntheseraum des Computers möglich waren, nun auch zu neuen Handlungsoptionen in der physischen Lebenswirklichkeit, die sich wiederum als Daten erfassen sowie computerbasiert steuern und weiterentwickeln lassen. Die *rekursive* Gesellschaft (vgl. Abschnitt 3.3) reproduziert sich hier also auch durch die digitaltechnikbasierten Formen wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit. Das gerade durch KI-Techniken im Proteindesign ermöglichte „*Spiel der Möglichkeiten*“ (Rohbeck 1993, S. 224; H. i. O.) mit zentralen Bausteinen des Lebens wirft dabei in hohem Maße auch ethische Fragen auf (vgl. Deutscher Ethikrat 2023, S. 196–199), die u. a. auch eine bildungsorientierte Auseinandersetzung mit den generativen Möglichkeiten digitaler Technik erfordern.

5.2.5 Vom Datum zum Bild

Wissenschaftliche Erkenntnisarbeit innerhalb der häufig abstrakten digitalen Informationsstrukturen wird im Wesentlichen auch durch das Vorhandensein konkreter, nutzerfreundlicher Oberflächen bzw. *Interfaces* möglich (vgl. Abschnitt 3.4). Wie bereits erwähnt, zeigte Heidi SCHELHOWE, dass sich die Ambivalenz digitaler Technik (bei SCHELHOWE der „doppelte Charakter“ des Computers) nicht so sehr durch ihre einerseits sichtbare und andererseits unsichtbare Seite auszeichnet, sondern vielmehr durch die *Dualität von Abstraktion und Konkretion*: Auf der einen Seite werden Objekte und Prozesse auf abstrakte Modelle reduziert, auf der anderen Seite zeigt digitale Technik als digitales Medium ihren Nutzenden ein „konkretes Gesicht“ und ermöglicht dadurch einen „höchst konkreten Umgang“ mit jenen Abstraktionen (Schelhowe 2011, S. 352). Dabei erhalten die digitalen Objekte als Informationsstrukturen und ‚Spannungsunterschiede‘ eine konkrete – und das heißt häufig *visuelle* – Ausdrucksform. Auch bzw. gerade im Kontext des digitalen Wandels ist auch wissenschaftliche Erkenntnisarbeit sehr wesentlich von Visualisierung und Bildgebung geprägt (s. u.). Bildtheoretisch gesprochen zeichnen sich Bilder aber selbst durch ein Spannungsverhältnis aus, nämlich das zwischen „Anschaulichkeit“ und „Unbestimmtheit“ (Lobinger 2012, S. 55): Durch ihre Anschaulichkeit machen Bilder einerseits *konkrete* Interpretationsvorschläge im Hinblick auf das, was sie darstellen, erzeugen andererseits aber stets auch einen Überschusssinn im Sinne von „Vieldeutigkeiten“ (ebd., S. 55), die sich nur reflexiv einholen lassen. Zu fragen ist, welche epistemische Bedeutung jenem bereits inhärenten Spannungsfeld des Bildes zukommt, wenn wissenschaftliche Visualisierungen heute vor allem digitaltechnisch produziert werden, und inwiefern digitale Bilder dabei Ausdruck *produktiver* Erkenntnisarbeit sind.

Visualisierung kann als eine der bedeutendsten Formen der *Konkretion* digitaltechnisch basierter Erkenntnisarbeit gelten. Das liegt u. a. daran, dass Menschen das Digitale in „Rohform“ (Tulodziecki 2016, S. 17) nicht begreifen können, sie benötigen Möglichkeiten der „Re-Analogisierung“, die ZIMMERLI zufolge aber stets auch einen Interpretationsvorgang markieren (vgl. Zimmerli 2021, S. 19). Das Zugänglichmachen digitaltechnischer Strukturen und Prozesse für menschliches Verstehen durch Bilder bzw. Visualisierungen ist also stets auch selbst ein Interpretationsvorgang, allerdings einer, der sich im Bild gerade *nicht* zeigt (s. u.). Zugleich erhalten digitale Bilder aufgrund der ihnen unterliegenden digitalen Produktionstechnik eine neue Qualität – sie werden in Analogie zu den performativen Eigenschaften digitaler Technik auch selbst *performativ*. Eine solche performative Form der Visualisierung – so die hier vorgenommene Deutung – bildet den epistemischen Kern digitaltechnisch basierter Visualisierungstechniken in den Wissenschaften – mit allen Folgen für die *Deutung* dieser Visualisierungen und der damit zusammenhängenden Genese wissenschaftlichen Wissens. Die Performativität digitaler Bilder als Inszenierungen von *Handlungen* (vgl. Wulf/Zirfas 2005, S. 7) ist beispielsweise im Kontext von Computerspielen bereits bild- und medienwissenschaftlich untersucht worden. So haben Constanze BAUSCH und Benjamin JÖRISSEN das „Spiel mit dem Bild“ in Computer-Actionspielen untersucht (vgl. Bausch/Jörissen 2005). Die Performativität des (digitalen) Bildes ist dabei ganz unabhängig davon zu konstatieren, ob es in

animierter oder statischer Form vorliegt. Auch ein statisches digitales Bild kann als performativ gelten. Dessen Performativität beruht darauf, dass das digitale Bild aufgrund seiner algorithmischen Genese die Trennung von „Ausführung (Aktion)“ und „Darstellung (Repräsentation)“ (Bausch/Jörissen, S. 346) unterläuft: „Man vollzieht etwas im Gebrauch dieser Bilder“ und alle auf Bildschirmen erzeugten Computerbilder sind stets mit „pragmatischen Vollzügen verknüpft, denn jedes Bild entsteht *unmittelbar* als Ergebnis eines Amalgams, im (sic!) welchem die Handlungen des Benutzers, die semiotischen Anweisungen der bildhaften ‚Benutzeroberfläche‘ und die bilderzeugenden digitalen Operationen des Computers miteinander verschmolzen sind“. Digitale Bilder (Gleicher gilt aber auch für Texte und andere digitale Objekte), befinden sich in einem Prozess des „*permanenter Hergestelltwerdens*“ (ebd., S. 346; H. i. O.) und sind damit „hochgradig flüchtig“ (ebd., S. 347). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Visualisierungen innerhalb digital-technischer Strukturen zum einen auf Interpretationsprozessen basieren, zum anderen sind sie als permanent in einem Herstellungsprozess befindliche stets auch flüchtige Entitäten.

Visualität in den Wissenschaften hat eine lange Tradition, die weit in die Zeit vor die Entwicklung der ersten Computer reicht. Sie bildet in der Geschichte menschlicher Erkenntnis- und Wissenspraktiken „keineswegs eine bloß illustrative Begleiterscheinung, sondern [...] einen unersetzlichen Kern nicht nur im Entdeckungs-, sondern auch im Begründungskontext der Wissenschaften“ (Krämer/Bredekamp 2003, S. 15). So hatte HUSSERL (2012) in seiner Krisisschrift noch die Entstehung und Abstraktion als krisenhafte Erscheinung moderner Wissenschaften kritisiert, im Rahmen wissenschaftlicher Visualisierungstechniken ist es aber gerade die „Versinnlichung, die Aesthetisierung unsichtbarer Prozesse und theoretischer Gegenstände [...], welche das Lebenselixier wissenschaftlichen Wandels ausmacht“ (Krämer/Bredekamp 2003, S. 15). So sind Verstehensprozesse in den Wissenschaften in der Regel auch an „Verbildlichungsstrategien“ (Wulf/Zirfas 2005, S. 23) geknüpft und seit Jahrhunderten sind visuelle Darstellungen für die Genese, Organisation und Kommunikation wissenschaftlichen Wissens von Bedeutung (vgl. u. a. Hentschel 2015).¹⁰³

Klaus HENTSCHEL (2015) untersucht in seinem Band *Visual Cultures in Science and Technology* visuelle Kulturen in Wissenschaft und Technik, deren historisch nachvollziehbare materielle Spuren sich in Zeichnungen und Gemälden, Wachsmodellen und Moulagen, 3D-Modellen, Fotografien, digitalen Bildern sowie visuellen Hilfsmitteln wie Mikroskopen, Teleskopen und Steroskopen wiedergefunden haben (vgl. Hentschel 2015, S. 390). Diese verlangten jeweils unterschiedliche Formen des ‚Sehens‘, die in den jeweiligen Domänen erst erlernt werden mussten, so in etwa in Laborkursen für Chemikerinnen und Chemiker oder in praktischen Übungen zum Modellbau für Architektinnen und Architekten. Das im Zuge wissenschaftlicher Sozialisierung entwickelte und für den jeweiligen Professionsbereich bzw. die jeweilige wissenschaftliche Domäne spezifische ‚Sehenkönnen‘ erfolgt dabei durch häufige Wiederholung und intensives Betrachten, sei es

¹⁰³ Man denke hier beispielsweise auch an die Schrift *Orbis Sensualium Pictus* von Johann Amos COMENIUS (2014).

von Wandtafeln, 3D-Modellen, Filmen oder Computersimulationen (vgl. ebd., S. 390). Ein solcher geschulter Blick ermöglicht es Wissenschaffenden das zu erkennen, was der ungeschulte Blick nicht bemerken würde, wie etwa Verdunkelungen auf einem Röntgenbild als Hinweis auf eine Läsion. Just eine solche domänenspezifische Fähigkeit zur ‚Mustererkennung‘ unterscheidet Expertinnen und Experten vom Laien (vgl. ebd., S. 390; Übers. DeepL/Anpassung OM).

Bei der digitaltechnisch erzeugten Visualisierung von Datenverarbeitungsprozessen erfahren menschliche Erkenntnismöglichkeiten jedoch eine neue Form der algorithmischen Vermittlung: Bilder und Visualisierungen stellen dabei *Resultate* vorgesetzter Mustererkennungsprozesse der algorithmischen Systeme dar, die erst nach der technischen Vermittlung zur Grundlage für weitere Erkenntnisprozesse der Wissenschaffenden werden. Dabei dienen digitaltechnisch erzeugte Datenvisualisierungen Wissenschaffenden vor allem als Zugangsmöglichkeit zu jenen menschlich nicht immer leicht nachvollziehbaren Datenanalysen der digitaltechnischen Systeme.

Wissenschaftliche Visualisierung war lange Zeit auf zweidimensionale Darstellungen begrenzt und erst der Einzug des Computers und heute von Hochleistungsrechenstrukturen sowie die Einführung der Computergraphik erlaubten neue Darstellungsmöglichkeiten. So wurden u. a. dreidimensionale Darstellungen möglich und die *wissenschaftliche Visualisierung* etablierte sich als eigenes Feld. Im Unterschied zur „Informationsvisualisierung“, wie sie beispielsweise mittels Straßen- oder U-Bahn-Karte möglich ist, befasst sich wissenschaftliche Visualisierung „mit strukturierten Daten in Raum und Zeit“ (Herrmann 2017, S. 80). Ausgangspunkt dafür können beispielsweise Simulationsresultate sein, die in der Regel als große Datenmenge in Form einer umfangreichen „Liste von Zahlenwerten“ vorliegen, aus denen nach menschlichem Verständnis noch kein Erkenntnisgewinn resultiert, da Zahlenlisten gerade dem ungeschulten Auge meist nur wenig bedeutungstragende Relationen offenbaren: „Ziel der Visualisierung ist es also, wesentliche Eigenschaften von Daten zu erfassen und leicht verständlich darzubieten“. Was dabei als „wesentlich“ gelten kann, ist jedoch abhängig vom jeweiligen Erkenntnisinteresse, so will man beispielsweise in der Strömungsmechanik die „Charakteristika komplexer, oft instationärer Strömungen“ untersuchen, wobei hier das Interesse auf typischen Merkmalen wie Wirbel und Turbulenz liegt (ebd., S. 80).

Visualisierung im Kontext der digitaltechnischen Datenverarbeitung kann als Berechnungsverfahren gelten. Dieses “transforms the symbolic into the geometric” (McCormick/DeFanti/Brown 1987, S. 3), es überführt also symbolisch-numerische Darstellungsformen in geometrische (vgl. Herrmann 2017, S. 80), macht dadurch aber auch „verborgene Zusammenhänge“ (ebd., S. 81) in Daten sichtbar. Für ein näheres Verständnis der Generativität bzw. Produktivität einer solchen Datenvisualisierung müssen zunächst noch einige bildtheoretische Vorannahmen skizziert werden, die sich mit dem Zusammenhang von Visualität und der Existenzannahme dargestellter Objekte – deren ‚Realismus‘ – auseinandersetzen.

Visualisierung und Realismus

„Es scheint intuitiv einsichtig“, dass ikonische Darstellungen als „realistisch“ erscheinen, dass diese Darstellungen also über eine Ästhetik verfügen, die auch ihrem „realen Pendit in puncto Farbe, Form und Oberflächenstruktur zukommt“, anders ausgedrückt: „Die Wahrnehmung dargestellter Objekte funktioniert in ähnlicher Weise wie die Wahrnehmung der Objekte selbst“ (Gramelsberger 2000, S. 58). Dass Menschen Bilder als ‚realistisch‘ wahrnehmen, kann GRAMELSBERGER zufolge auf zweierlei zurückgeführt werden: Entweder wissen Menschen um den *Gegenstandsbezug* der Bilder – also ob eine Sache tatsächlich, wie dargestellt, existiert oder nicht. Oder aber Menschen erachten eine Darstellung aufgrund ihrer ‚authentizitätserzeugenden‘ Ästhetik, zum Beispiel eine foto-realistiche Darstellung, als realistisch. Eine der allgemeinen „Ästhetik unserer Objektanschauung“ (ebd., S. 57) nachempfunde ikonische Darstellungsweise kann allerdings immer auch auf fiktive Objekte referieren und dabei durchaus „realistisch anmuten“ (ebd., S. 57). Die Annahme eines bildbezogenen Realismus ist daher *mehrdeutig*: Sie kann darauf beruhen, dass man weiß, dass das dargestellte Objekt tatsächlich existiert oder aber sie gründet auf der Ästhetik eines Bildes. Um den ‚Realitätsgehalt‘ von Bildern beurteilen zu können, muss daher der Gehalt ihrer *Denotation* bekannt sein, wie Nelson GOODMAN in seiner Symboltherie erklärt (vgl. Goodman 1968, S. 5). Gelingt dies nicht, könnten Betrachtende der Illusion unterliegen, ‚realistisch‘ wirkende Bilder referieren auf existierende Objekte¹⁰⁴ oder Sachverhalte. Digitaltechnisch produzierte Bilder führen dabei GRAMELSBERGER zufolge zu einer „Neuauflage der Illusionstheorie“ (Gramelsberger 2000, S. 56), denn die ‚realistisch‘ anmutende Ästhetik technischer Bilder verleite zur voreiligen Existenzannahme des Dargestellten (vgl. ebd., S. 57).¹⁰⁵

Die fehlende Rückführbarkeit des denotativen Gehalts von Bildern auf ihre äußere Form spitzt sich vor dem Hintergrund der digitalen Technik nochmals zu. Digitaltechnisch generierten Bildern kann zwar eine zumindest temporäre „raum-zeitlich“ verortbare Existenz zugesprochen werden, als „Kodierungen“ können sie aber nie maschinennahängig dargestellt bzw. wahrgenommen werden (Gramelsberger 2000, S. 58). Digitale Bilder beruhen außerdem auf einem anderen „Erzeugungsprinzip“ als nicht-digitale Bilder. Während nicht-digitale Bilder „auf ein und demselben Trägermaterial gespeichert und präsentiert sind“, ist die sichtbare Darstellung des digitalen Bildes von den in seinem Kontext gespeicherten Daten separierbar, kann aber wiederum nur mithilfe „programmgesteuerter

¹⁰⁴ Und zwar auch dann, wenn es sich um Objekte bzw. Sachverhalte handelt, die in Wirklichkeit nicht existieren (vgl. Goodman 1968, S. 66), wie beispielsweise Fabelwesen. GOODMAN zufolge denotieren Darstellungen von Fabelwesen jedoch *nichts*, sondern exemplifizieren lediglich das Bild eines Fabelwesens bzw. dessen Beschreibung (vgl. Goodman 1968, S. 66).

¹⁰⁵ Ähnlich wie GRAMELSBERGER argumentiert Johanna DRUCKER, dass das über Bilder generierte Wissen nicht auf ihre äußere Form rückführbar ist, sondern auf die Relation von Bildern zu ihren Bezugssobjekten bzw. Referenten (vgl. Drucker 2020, S. 13). Bilder sind daher auch niemals *selbsterklärend* („self-evident“) und das Erkennen von Bildbedeutungen ist eine kulturell und historisch sozialisierte bzw. erlernte Form des Bilderverstehens (ebd., S. 13 f.).

Anweisungen“ (ebd., S. 58) zugänglich bzw. sichtbar gemacht werden.¹⁰⁶ Diese Trennung von Speicherung der Bilddaten und Präsentation des Bildes führt dazu, dass der Objektstatus digitaler Bilder nicht immer eindeutig ist, insofern sich dieselben Daten in viele unterschiedliche Darstellungsformen bringen lassen.

Digitale visuelle Repräsentationsformen können entweder als „abgescannte Informationen realer Objekte“ entstehen, wenn diese beispielsweise mit einer Digitalkamera abfotografiert werden oder über einen Scanner eingescannt werden. Digitale Bilder können aber auch ohne „abzuscannendes Original“ generiert werden (Simulation), und zwar in der gleichen „(foto-) realistischen“ Ästhetik wie ein Scan. Ein Scan ‚realer‘ Objekte und ein simuliertes Bild sind sowohl aufgrund ihrer Datenbasis als auch ästhetisch kaum zu unterscheiden (Gramelsberger 2000, S. 58 f.): Das „Abbildungsmedium“ Bild wandelt sich durch seinen technisch induzierten neuartigen Objektstatus „bei gleichbleibender Ästhetik“ zu einem „Simulationsmedium“. Muss das Bild – ohne äußerlich darauf hinzuweisen – nun aber stets als Produkt einer Simulation bzw. Berechnung aufgefasst werden, erzeugt dies neue Fragen insbesondere für solche Bildbegriffe, die auf dem „Fotorealismus als Dokumentationsform realer Sachverhalte“ basieren (ebd., S. 59). So ist also die Frage nach dem Realismus der Bilder, und damit nach der Art und Weise des über sie generierbaren Wissens, vor dem Hintergrund des digitalen Wandels neu zu stellen. Angesichts der Tatsache, dass Visualisierungen einen wesentlichen Teil der Verständnis- und Erkenntnisprozesse im Rahmen der Genese wissenschaftlichen Wissens ausmachen, ist aber der Objektstatus bzw. das unterliegende Erzeugungsprinzip eines Bildes von wesentlichem Interesse. Die Gefahr besteht, den theoriebasierten Charakter der digitalen Bilder aufgrund ihrer äußeren Form zu erkennen. Dies leitet zur Frage, die in diesem Abschnitt von zentralem Interesse ist: Was denotieren digitaltechnisch produzierte Visualisierungen im Kontext der wissenschaftlichen Wissensproduktion eigentlich?

Die Frage nach dem „Realismus“ der Bilder stellt sich dabei vor allem in allen Wissenschaftsbereichen, die mit numerischer Symbolverarbeitung arbeiten. Johanna DRUCKER unterscheidet in ihrer Schrift *Visualization and Interpretation* fünf digitaltechnisch basierte Visualisierungstechniken (“Description”, “Analysis”, “Modeling”, “Procedural approaches” und “Emergence”), die allesamt als Ausdrucksformen algorithmischer „Interpretation“ digitaler Daten gelten müssen, und zwar auch dann, wenn sie vordergründig ‚nur‘ die Beschreibungen von Datenzusammenhängen dienen (Drucker 2020, S. 36 f.). Datenbasierte Visualisierungen sind demnach Produkte eines Parametrisierungs- und Modellierungsvorgangs, dessen Geneseprozess durch den deklarativen Charakter des

¹⁰⁶ Im Rahmen der Medientheorie und Kommunikationsforschung spricht Wolfgang REIBMANN in diesem Kontext auch von der *Plastizität* des Bildes (vgl. u. a. Reißmann 2019, S. 50 f.) und fragt, „inwiefern Plastizität als basales Kennzeichen einer auf digitaler Medientechnologie basierenden visuellen Kultur unsere Vorstellungen von bildlicher Authentizität verändert“. Denn obwohl die Bildtheorie längst die „Selbstnegation des Bildes als ein Kennzeichen seiner ‚realistischen‘ Spielarten“ dekonstruiert hat, stellt ein „hintergründiges Plastizitätsbewusstsein“ bezüglich der digitalen Bilder das alltägliche „Vertrauen in bildliche Abbildungsleistungen“ infrage (ebd., S. 51).

visuellen Outputs allerdings im wahrsten Sinne des Wortes ‚aus dem Blick‘ gerät: Denn Visualisierungen geben vor, Gegebenes (“Data”) lediglich zu repräsentieren, aufgrund der unterliegenden Modelle und Parameter zur Erzeugung der Visualisierungen handelt es sich bei den ihnen unterliegenden Daten jedoch um “Capta”, wie DRUCKER es nennt (ebd., S. 36), insofern diese auf eine spezifische, den verwendeten Modellen und Parametern entsprechende, Art und Weise visualisiert werden. Selbst eine Excel-Tabelle besitzt grafische Eigenschaften, über die die Interpretation der darin enthaltenen Werte vorstrukturiert wird und muss daher vielmehr als Argumentationsstruktur bzw. *rhetorisches Mittel* verstanden werden, das durch seine spezifische grafische Anordnung ‚kommuniziert‘ (vgl. ebd., S. 69). Zu den bekannten Datenvisualisierungsformen, die auch in Wissenschaft und Wissenschaftskommunikation genutzt werden, gehören neben Tabellen beispielsweise Balkendiagramme, Baumstrukturen, Karten (“Maps”), Bilddiagramme und Raster sowie Netzwerkdiagramme (vgl. ebd., S. 69 f.). Gemeinsam ist ihnen, dass sie nicht nur *repräsentativ*, sondern auch *performativ* sind, insofern sie eben nicht lediglich unterliegende Daten ‚sichtbar‘ machen, sondern dies auf eine bestimmte Art und Weise tun. Sie strukturieren das in den unterschiedlichen Visualisierungsformen Erkennbare auf eine bestimmte Art und Weise und prägen damit das durch sie generierte Wissen (vgl. ebd., S. 70). In ihrer Reformulierung von “Data” als “Capta” (ebd., S. 54–56; vgl. auch Drucker 2011) bringt DRUCKER also zum Ausdruck, dass viele Visualisierungsformen nichts Bestehendes repräsentieren, sondern vielmehr etwas *Neues* generieren: “An architectural sketch brings forth the image of a building, a geometrical diagram creates a proof, a drawing produces a form hitherto unknown, an act of connecting one or more words in a text with a line creates an interpretation, or a drawing of an arrow creates a model of time or temporality. In these examples, the production of the visual image produces something new, it does not reproduce something preexisting” (ebd., S. 12).

Doch ist es just der Akt der Sichtbarmachung von Daten, der schließlich dazu führt, Visualisierungen als bloße Repräsentationen zu miss verstehen, denn gerade in Wissenschaftskontexten überführen digitale Datenvisualisierungen in der Regel in numerischer Form vorliegende Theorien „aus ihrer Abstraktheit“ in eine ungewohnte „Anschaulichkeit“ (Gramelsberger 2000, S. 62). Berechnete numerische Werte, wie beispielsweise Resultate einer Simulation, werden also nicht etwa in Bilder ‚realer Gegenstände‘, sondern in „Bilder von Theorien“ transformiert. Dabei können auch solche Anschauungen entstehen, zu denen es keine für das menschliche Auge zugänglichen Korrelate gibt. Die Visualisierung des eigentlich ‚Unanschaulichen‘ reiht sich dabei in eine lange Tradition wissenschaftlicher Visualisierungsbestrebungen. So haben viele der natürlichen, aber auch sozialen oder kulturellen Phänomene, die in den unterschiedlichen Disziplinen zum Gegenstand wissenschaftlicher Prozesse werden können, überhaupt kein visuelles Korrelat. In der Physik existieren keine visuell beobachtbaren Repräsentationen für das Wirken von Kräften oder atmosphärischen Wirkzusammenhängen wie der Temperatur. Visualisierungen für diese basieren auf *Konventionen*, und nicht auf Beobachtungen, ihnen liegen keine Anschauungen realer Phänomene und Objekte zugrunde, sondern von Men-

schen entwickelte *Modelle* jener Phänomene (vgl. Drucker 2020, S. 17 f.). So werden zwar beispielsweise Windrichtungen, Isobaren und Druck in Klimavisualisierungen in graphischen Codes dargestellt, „but that does not make them ‘real’ parts of the natural system“ (ebd., S. 18). Als „Bilder von Theorien“, das heißt als Visualisierungen von Modellen, haben digitaltechnisch erzeugte Visualisierungen mit klassischen Bildern nur ihre ikonische Anschaulichkeit gemeinsam, sind aber keine Abbildungen, sondern „synkategorematische Zeichen“, und damit Bilder, die nie *für sich* sprechen können. Sie lassen sich nur im Kontext der ihrer Genese unterliegenden Theorien sowie der dafür verwendeten Daten interpretieren (Gramelsberger 2000, S. 60).

Im Kontext des Verhältnisses von Bild und elektronischer Verarbeitung in der wissenschaftlichen Erkenntnisarbeit verweist Johanna DRUCKER auf Peter GALISONs Schrift *Image and Logic* (vgl. Galison 2000). GALISON hatte das Spannungsfeld von Forschungstraditionen in den Naturwissenschaften untersucht, die sich bildlicher Darstellung sowie computertechnischer Verarbeitung als Bestandteile einer epistemischen Praxis bedienen, die die Experimentalkultur der modernen Physik stark geprägt hat. Im Zusammenhang der naturwissenschaftlichen Erkenntnisarbeit können Visualisierungen zwar dazu verhelfen, Hypothesen zu bestätigen oder zu widerlegen, umgekehrt werden die hypothetischen

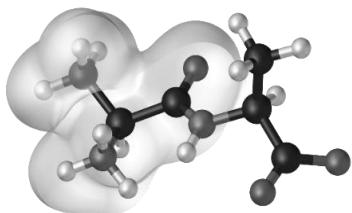


Abbildung 2: 3D-Darstellung eines Molekül-Modells (Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Molekulare_Modellierung#/media/Datei:Molecular_Modeling.png; Dhatfield, Edboas, CC BY-SA 3.0)

Einsatz von Verfahren wie *Volume-Rendering*, *Texture-Mapping* oder auch *interaktiver 3D*-Formate, durch die die visuelle Darstellung noch ‚anschaulicher‘, also der menschlichen Objektwahrnehmung zugänglicher wird (Gramelsberger 2000, S. 60, Fußnote 10).

Konzepte physikalischer Phänomene zugleich auch durch ihre visuellen Modelle beeinflusst (vgl. Drucker 2020, S. 18), so beispielsweise bei der Visualisierung des Atommodells, die nicht nur Erkenntnisarbeit in der Physik prägt, sondern bis heute auch, wie Menschen sich *Atome* vorstellen. In den Visualisierungen von Atom-, Wetter- und Klimamodellen oder in etwa von Molekülen, also des eigentlich Unanschaulichen, besteht die Gefahr eines unangemessenen Objektbezugs u. a. auch durch den

In einem Preprint eines Papers von Muyuan CHEN (2023) von der Stanford University wird beispielsweise eine Visualisierungstechnik von Molekularstrukturen vorgestellt, die sich der Videospiel-Entwicklungsengine *Unreal Engine 5* (UE5) bedient, um aus über Tomographen erzeugten Bildern von Molekularstrukturen, wie beispielsweise die eines Coronavirus, interaktive 3D-Visualisierungen zu generieren. Aufgrund der Benutzeroberfläche der Spiele-Engine wird es Wissenschauffenden möglich, sich in Echtzeit innerhalb einer solchen gerenderten Zellstrukturen-Videospiel-Szene zu bewegen (vgl. Chen 2023, S. 3). Zur Verbesserung der Navigation innerhalb der Szene stellen die Entwicklerinnen und Entwickler zudem Ingame-Protokolle in UE5, sogenannte Blueprints (vgl. Unreal Engine o. J.), zur Verfügung, welche die Steuerung der Bewegungen der

‘Charaktere‘ und die Interaktion mit der Umgebung erleichtern (vgl. Chen 2023, S. 5). Zwei Erkenntnisse lassen sich aus dieser Visualisierungstechnik ableiten: Zum einen erhält die für die digitaltechnische Experimentalstruktur postulierte Art des „experimentellen Spielens mit Dingen“ (Dewey 1998, S. 90) mithilfe der hier verwendeten Spiele-Engine eine neue, an die computerbasierte Spielearchitektur angelehnte ästhetische Qualität. Diese produziert eine dreidimensionale und interaktiv erkundbare Darstellung der *postulierten* Anschauung einer mit dem bloßen Auge eigentlich nicht sichtbaren Molekularstruktur. Zum anderen zeugt die Möglichkeit des Übertrags der Molekularstrukturen-Daten aus den Tomogrammen in eine computerbasierte Spiele-Engine erneut von der interpretativen Flexibilität digitaltechnischer (Software-)Strukturen. Die flexible Zweckbestimmbarkeit und Adaptivität der Engine sorgen dafür, dass sie auch für wissenschaftliche Erkenntnisziele nutzbar gemacht werden konnte.¹⁰⁷ Die durch solche Visualisierungstechniken entstehende Anschaulichkeit und ‚Authentizität‘ der Darstellung darf allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass es sich dabei um Visualisierungen von zwar messbaren und aus Theorien berechenbaren, aber eben nicht von *sichtbaren* Eigenschaften handelt (vgl. Gramelsberger 2000, S. 60, Fußnote 10).

Insgesamt ist zu konstatieren, dass der digitaltechnisch erzeugten Visualisierung vor allem bei der Visualisierung des teils Unanschaulichen ein epistemisch ambivalenter Status zukommt, denn: Zum einen werden Bilder bzw. Visualisierungen zunehmend notwendig, um überhaupt aus großen Datenmengen einen sinnvollen Gehalt und damit Wissen generieren zu können. Zum anderen ist aber der spezifische Objektbezug der dabei entstehenden Darstellungen und Bilder zur berücksichtigen: Digitale Visualisierungen halten kein Kausalitätsverhältnis zwischen einer realweltlichen ‚Wirklichkeit‘ und deren Abbild fest, sondern ein „Kausalitätsverhältnis zwischen Daten und [deren] Visualisierung“, denn digitale Bilder lassen sich einem Datensatz und einem Programm zuordnen und ihr ‚Realismus‘ betrifft damit lediglich die Frage, inwieweit Visualisierungen dem zugrundeliegenden Datensatz entsprechen – ein Datensatz, der für Wissenschaftlern je nach Umfang auch nicht einfach zu überblicken ist, just dafür benötigen sie ja Visualisierungsmöglichkeiten. Angesichts der Tatsache, dass die in Simulationen und Big-Data-Analysen verarbeiteten Daten aufgrund ihres Umfangs und ihrer Codierung unanschaulich sind und überhaupt erst über eine Form der Visualisierung nachvollziehbar werden, droht aber die Frage nach dem „Realismus“ der so entstehenden Bilder „in einen Zirkel zu laufen“ (Gramelsberger 2000, S. 59 f.).

Hinzu kommt, dass Simulationen, beispielsweise von Molekülen, nicht selten später durch Synthetisierung im Labor in realweltliche, physische Objekte überführt werden,

¹⁰⁷ Die Entwicklerinnen und Entwickler, so CHEN, mussten hierfür jedoch immerhin ein Protokoll entwickeln, das die hochauflösenden Strukturen der Tomogramme aus einer Datenbank in UE5 importieren konnte, das heißt, ihre Position aus den Tomogrammen in die Koordinaten der Spiele-Engine konvertierte und die Moleküle mithilfe von Python-Skripten innerhalb der Zelle platzierte (vgl. Chen 2023, S. 4; Übers. ChatGPT/Anpassung OM).

wenn beispielsweise das auch erhebliche visuelle Anteile verzeichnende *molecular modeling* zur Basis der Entwicklung neuer Wirkstoffe oder Arzneimittel wird (vgl. Böhm/Klebe/Kubinyi 2002, S. 281–296). Auch ohne dass die am Computerbildschirm visuell simulierten Molekularstrukturen reale Objekte denotieren, dient die „vorgeordnete[...] Visualisierung“ letztlich der *Konstruktion* physischer Objekte und „verhilft“ den Bildern so im Nachhinein zu einer Denotation (Gramelsberger 2000, S. 61). Der „Abbildungsprozeß“ kehrt sich also um „in einen Erzeugungsprozeß (sic!)“, in dem Bilder den *Ausgangs-* und nicht den Endpunkt eines wissenschaftlichen Erkenntnis- oder vielmehr Herstellungsprozesses bilden: „Aus Meßwerten (sic!) oder theoretischen Beschreibungen werden elektronische Bilder und virtuelle Objekte, und aus virtuellen Objekten werden reale“, reale Objekte werden damit also zu „Abbildungen der Bilder“ (ebd., S. 61).

GRAMELSBERGER schlägt daher vor, um den Terminus des Abbilds zu vermeiden, digitale Bilder als *Interfaces* zu verstehen, denn dieser Terminus deute auf ein „aktives Verhältnis zwischen Mensch und Maschine, Mensch und Realität“ (Gramelsberger 2000, S. 61). Ähnlich wie auch das *Graphical User Interface* (vgl. Abschnitt 3.4) nicht als „ikonische Abbildung“, sondern als „visueller Interaktionszugang zur digitalen Welt“ zu verstehen ist, sind auch Visualisierungen in den Wissenschaften Interaktionszugänge, denn sie *Veranschaulichen* nicht nur Erkenntnisgegenstände oder Resultate eines Erkenntnisprozesses, sondern „fordern [...] zur Handlung auf“ (Gramelsberger 2000, S. 61), sie enthalten also Affordanzen in visueller Form. Aufgrund ihrer *Manipulierbarkeit* fordern digitale Bilder stets zum „aktiven Umgang“ mit ihnen auf, produzieren dadurch aber auch ihren „eigenen Realismus“ (ebd., S. 62), der nicht in der Abbildung realweltlicher Phänomene, sondern in der produktiven Erzeugung eines visuellen Wissens über die häufig selbst nur konzeptuell oder modellhaft erkannten Phänomene liegt. Dieses Wissen kann aber – und hierin zeigt sich die spezifische Generativität der digitaltechnischen Visualisierung – Grundlage für physische Re-Materialisierungen werden. Es sind dann die physischen Objekte bzw. Stoffe, die zu ‚Abbildungen‘ digitaltechnisch generierter Bilder werden und nicht umgekehrt. Hier zeigt sich erneut, dass sich die inhärente Offenheit digitaltechnischer Systeme durchaus nicht nur auf Vollzüge innerhalb ihrer eigenen Strukturen beschränkt, sondern dass es hier zu Grenzverschiebungen in die Lebenswelt hinein kommt.

Bei der Betrachtung der wissenschaftlichen Datenvisualisierung wird zudem deutlich, dass es in der stets auch bildbasierten Form der Erkenntnisarbeit innerhalb digitaltechnischer Strukturen auch der *ästhetischen Reflexion* bedarf. Johanna DRUCKER plädiert daher dafür, dass die ästhetische Reflexion angesichts der generativen Wirkung digitaltechnisch produzierter Bilder und Datenvisualisierungen zu einem “vital part of scientific innovation” werden müsse, denn in Simulationen und digitaltechnisch erzeugten Visualisierungen sind Bildeigenschaften stets Effekte datenbasierter Manipulationen und eben nicht “a priori given” (Drucker 2020, S. 18). In ihrer aus der Sichtweise der Digital Humanities entfalteten Auseinandersetzung mit und Kritik an Auffassungen von Visualisierung als *repräsentationale* Form der Wissensproduktion entwirft sie einen Ansatz einer *nicht-repräsentationalen* Epistemologie der Visualisierung (vgl. ebd., S. 11), die den rhetorischen bzw. *argumentativen* Charakter von Visualisierungen zu berücksichtigen versucht (vgl.

ebd., S. 67). Was dokumentieren Visualisierungen dabei über die Art der Datenverarbeitung und inwiefern gibt es alternative Visualisierungsmöglichkeiten? Auf diesen Ansatz DRUCKERS gehe ich im Rahmen der bildungsorientierten Auseinandersetzung mit den hier analysierten Dimensionen digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit nochmals ein (vgl. Abschnitt 6.3.3)

Eine noch stärkere Ausprägung erhält das bereits mehrfach thematisierte und für den wissenschaftlichen Reflexionsprozess so bedeutsame experimentelle ‚Spiel‘, wie es u. a. auch in Visualisierungen zum Ausdruck kommt, im Kontext der Computersimulation, wie im Folgenden diskutiert wird. Computersimulationen bilden dabei die bisher eindrücklichste Zusitzung eines symbolischen Experimentalraums und Form des tentativen Handelns, das die Erkenntnisarbeit im ‚Computerlabor‘ auszeichnet. Die Auseinandersetzung mit der wissenschaftlichen Computersimulation enthält dabei auch Anknüpfungspunkte für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb häufig intransparenter digitaltechnischer Strukturen.

5.2.6 Vom Datum zur Simulation

Die Transformationen, denen eine Wissenschaft im digitalen Wandel unterliegt, zeigt kein Beispiel so deutlich wie die *Computersimulation*. Computersimulationen, so GRAMELSBERGER, erweisen sich als „paradigmatisch“ für ein Nachvollziehen der „Möglichkeiten und Grenzen computerbasierter Forschung“ (Gramelsberger 2010, S. 8). Computersimulationen sind numerische Modelle (vgl. ebd., S. 11), in denen die Erforschung realweltlicher Phänomene in Informationsstrukturen überführt wird (vgl. Abschnitt 5.1.1). Diese Strukturen fungieren dabei nicht nur als Repräsentationsmedien, sondern vor allem als *Transformationsräume*. Bernard ROBBEN zufolge handelt es sich bei Simulationen daher auch um keine Neuauflage alter Mimesistheorien, sondern vielmehr um Erprobungsräume, in denen ein *spielerischer Umgang* mit der Wirklichkeit möglich wird. ROBBEN fragt daran anknüpfend, ob damit der „Spieltrieb als Kulturprinzip“ (Robben 2006, S. 272) auf neue Weise an Geltung gewinnt. Die in der Wissenschaftsforschung und Technikphilosophie bereits eingehende Beschäftigung mit der *Computersimulation* (vgl. ebd.; Humphreys 2004; Kaminski/Resch/Küster 2018; Winsberg 2010) kann in diesem Abschnitt allerdings nur ansatzweise aufgegriffen werden. Im Vordergrund steht dabei vor allem, den generativen und ‚spielerischen‘ Charakter der Computersimulation zu erörtern.

Computersimulationen kommen heute insbesondere in naturwissenschaftlichen Disziplinen wie der Physik¹⁰⁸, Chemie¹⁰⁹ oder Biologie¹¹⁰ sowie in der meteorologischen Klima-

¹⁰⁸ Zum Beispiel zu Dynamiken und Wechselwirkungen in der Teilchenphysik (vgl. Brehmer 2021).

¹⁰⁹ Zum Beispiel zum Verständnis molekularer Prozesse (vgl. Imanpour et al. 2023).

¹¹⁰ Zum Beispiel zum Verständnis von Umweltbedingungen für das Pflanzenwachstum (vgl. Heuermann et al. 2023).

forschung¹¹¹ zum Einsatz, und das mittlerweile in einem solchen Umfang, dass diese Wissenschaften sich GRAMELSBERGER zufolge zu „Computational Sciences“ (Gramelsberger 2010, S. 12) transformiert haben – also zu computerbasierten Wissenschaften, in denen digitale Computertechnik zum Kernmedium der Erkenntnisarbeit avanciert ist. Insbesondere in der Klimaforschung könnte die Bedeutung der Computersimulation und des Computers als „Forschungs-, Experimentier- und Prognoseinstrument“ kaum deutlicher sein. Vor allem das sozio-politische und öffentliche Interesse an den Ergebnissen der Klimasimulationen ließen die Klimaforschung zu einer „führenden Simulationswissenschaft werden“ (ebd., S. 105). In ihrer Deutung als Computerexperiment kann die Simulation dabei als „eigenständige epistemische Kultur der Wissensgenerierung“ (ebd., S. 12) gelten, bei der, anders als im klassischen ‚Wet Lab‘ mit „rein symbolischen Objekten respektive technologisch-epistemischen Texturen hantiert“ wird. Dass in den ‚Computerleboren‘ nur mit den *Beschreibungen* materialer Objekte geforscht wird (ebd., S. 276), hat dabei u. a. zur Folge, dass die „materiale Widerständigkeit“ der realweltlichen Experimentalabore wegfällt und Experimente stattdessen „unter dem Diktat von Algorithmen, diskreten Zuständen und rechnerischen Effizienzen“ (ebd., S. 12) erfolgen. Wie bereits im Problem-aufriß dieser Studie erwähnt (vgl. Abschnitt 1.2), handelt es sich bei ‚Computerlaboren‘, in denen mit rein symbolischen Objekten hantiert wird, um *Konvergenzräume*. In ihnen werden die „vielen, unübersichtlichen Instrumente und Utensilien des Biolabors“ (Weber 2003, S. 165) ersetzt durch ein “simple-to-master piece of experimental equipment“, das allein der Genese von *Informationsstrukturen* (Langton 1996, S. 50) dient.

In ihrer Schrift *Computerexperimente* geht es GRAMELSBERGER (2010) um die Rekonstruktion einer Epistemologie experimentellen Forschens im ‚Computerlabor‘. Sie rekonstruiert das Computerexperiment in Rückgriff auf die Entwicklungsgeschichte des durch Mathematisierung und technische Vermittlung geprägten naturwissenschaftlichen Experiments und skizziert dabei die wesentlichen Unterschiede zum heutigen computerbasierten Experiementieren. GRAMELSBERGER bedient sich hier vor allem des Beispiels der Meteorologie, die wesentliche „Standards für den Umgang mit der Simulation als neuem Erkenntnisinstrument“ gesetzt hat. Für GRAMELSBERGER stellte sich dabei die Frage, ob „die codierte und computerprozessierte Weise der Erkenntnisgewinnung denselben Bedingungen unterliegt wie die traditionell naturwissenschaftliche Handhabung von Erkenntnissen, die ihre Wissensbestände in Form mathematisierter und quantifizierter, aber eben noch nicht algorithmierter und numerisch simulierter Weise gewinnt“ (Gramelsberger 2010, S. 13). Denn genau in diesem Übergang von einem mathematischen in einen *algoritmierbaren* Modus des Erkenntnisgewinns vollzieht sich das, was für GRAMELSBERGER den „epistemischen Kern des Wandels der Wissenschaft im Zeitalter des Computers“ ausmacht (ebd., S. 13).

¹¹¹ Zum Beispiel zur Erforschung von Atmosphärenmodellen und Erdsystemen. Diese bilden einen Schwerpunkt in Gabriele GRAMELSBERGERS (2010) Studie *Computerexperimente*, aus der auch für diesen Abschnitt wesentliche Erkenntnisse referenziert werden.

Bei der Lektüre wissenschaftstheoretischer und wissenschaftssoziologischer Diskurse zur Simulation fiel GRAMELSBERGER auf, dass diese sich vor allem auf die Bedeutung der theoretisch-mathematischen Modelle in der Simulation konzentrierten, der informations-technischen Seite und damit dem Computer „in seiner Notwendigkeit zur Algorithmierung von Theorie“ aber weniger Aufmerksamkeit schenkten. In den Diskursen werde meist entsprechend nicht zwischen Theorie, mathematischem Modell, algorithmiertem Modell und dessen numerischer Explizierung in der Simulation unterschieden (Gramelsberger 2010, S. 220). Der Kern der Computersimulation zeichnet sich aber gerade durch jene mehrstufigen mathematischen *und* informatischen Transformationsprozesse aus, die vom theoretisch-mathematischen Modell zur algorithmischen Kodierung und schließlich zur „numerischen Anwendung“ in der Simulation verlaufen. Bezogen auf das „Computerexperiment“ kommen also im Vergleich zum herkömmlichen Experimentallabor, das vor allem durch mathematische, instrumentetechnische und experimentelle Bedingungen strukturiert wird, zusätzliche computer- und informationstechnisch bedingte Prämissen hinzu, um die es GRAMELSBERGER in ihrer philosophischen Einordnung der Computersimulation vornehmlich geht (ebd., S. 220).

In der erkenntnistheoretischen Reflexion der Computersimulation wurde nicht selten der Versuch unternommen, diese „klassisch zu erfassen“, also ausgehend von den tradierten naturwissenschaftlichen Verfahrensweisen, die auf Theorie, Modell, Messung und Beobachtung beruhen. Indem aber der Computer in der erkenntnistheoretischen sowie methodologischen Reflexion „dem Modell untergeordnet“ wird (Gramelsberger 2010, S. 233), werde die erkenntnisprägende Bedeutung der Computertechnik und damit die Bedeutung der spezifischen Materialität des Computers für den Forschungsprozess unterschätzt. So hat Eric WINSBERG in seiner prägenden Schrift *Science in the Age of Computer Simulation* zwar einige zentrale Perspektiven zur Frage „how the digital computer is transforming science“ (Winsberg 2010, S. 1) aufgezeigt, WINSBERG lässt allerdings erkennen, dass er die Simulation vorwiegend als „wissenschaftsphilosophisches und nicht technikphilosophisches“ Problem versteht (Kaminski et al. 2016, S. 93; H. i. O.). Während dabei Fragen nach dem Verhältnis von Simulation zu Experiment und Theorie oder nach der Reliabilität von Prognosen von Interesse sind, werde der Simulationstechnik wenig Aufmerksamkeit geschenkt (vgl. ebd., S. 93). GRAMELSBERGER zufolge war daher ein Perspektivwechsel notwendig, bei dem das Phänomen der Simulation auch als „computerbasierte [...] Wissenschaft hinterfragt“ werden musste (Gramelsberger 2010, S. 233; vgl. auch Kaminski et al. 2016, S. 93).

An diesen Perspektivwechsel wird in der hiesigen Analyse angeknüpft und das Phänomen der Computersimulation als ein spezifisch informations- bzw. digitaltechnisches in den Blick genommen. Dabei soll insbesondere auf die *performativen* Dimensionen digitaler Technik eingegangen werden, denn der epistemische Kern des Computers im Rahmen der Simulation besteht GRAMELSBERGER zufolge darin, dass er „theoretische Modelle in dynamische“ (Gramelsberger 2010, S. 234) transformiert. Die performativen Eigenschaften digitaler Technik (vgl. Abschnitt 3.3) kommen dabei nicht nur in den Rechenprozessen selbst zum Tragen, sondern auch in der Arbeit der Modelliererinnen und

Modellierer, die im Rahmen der sogenannten „Simulationspipeline“ (s. u.) in stetem ‚Austausch‘ mit den computertechnischen Agenten Forschungsgegenstände ‚simulationsfähig‘ machen. Diese Dynamik zeigt sich vor allem in den rekursiven Prozessen des Justierens und Rekombinierens, denen die Modellierung von Simulationen unterliegt. Darin weist das Computerexperiment einen ähnlichen „Werkstattcharakter“ (Gramelsberger 2010, S. 146 und 157) auf wie wissenschaftliches Handeln in klassischen Experimentallaboren, wie es insbesondere die *Laborforschung* in zahlreichen Studien aufgezeigt hat (vgl. Knorr Cetina 1984, 2002; Latour 1987; Latour/Woolgar 1986).

Vom mathematischen Modell zum Simulationsmodell

In ihrem *Toolkit* zur Computersimulation für interdisziplinär Forschende der Geistes- und Sozialwissenschaften skizziert die (vorwiegend) Darmstädter Autorinnen- und Autorengruppe den Methodenwandel, der sich im Zuge der Simulationsforschung vollzieht (vgl. Bischof et al. 2017). Sie zeigen, inwiefern Hochleistungsrechner, anders als der im Zusammenhang der Technik häufig noch vorherrschende und bereits diskutierte Instrumente-, Werkzeug- bzw. Mittelbegriff suggeriert, „mehr“ tun (Gehring/Hubig/Kaminski 2017, S. 8), als Forschungsgegenstände eins zu eins von einer theoretischen in eine maschinentaugliche Form zu ‚übersetzen‘. Dieses Mehr – das aufgrund der damit einhergehenden Abstraktionsprozesse oftmals auch ein Weniger bedeutet – entsteht im Rahmen der schrittweisen Modellierung innerhalb der „Simulationspipeline“ (ebd., S. 8), die als *Prozess der schrittweisen Umformung* verstanden werden kann. Diesen Vorgang beschreiben KAMINSKI ET AL. auch als eine Form der „List“ (Kaminski et al. 2016), worauf im Verlauf dieses Abschnitts noch zurückzukommen sein wird. Für zu simulierende Forschungsgegenstände, wie im Kontext der Klimamodellierung zum Beispiel die Entwicklung eines Wirbelsturms, muss zunächst ein physikalisches Beschreibungsmodell formuliert werden, das schließlich mathematisch rekonstruiert und ausformuliert wird. Aber weder die physikalische noch die mathematische Beschreibung sind bereits ‚computertauglich‘, d. h. können noch nicht von einem Digitalrechner prozessiert werden. Es erfolgt ein weiterer Schritt der Umformung mithilfe angewandter Mathematik und auf Grundlage informatischer Prinzipien (vgl. Gehring/Hubig/Kaminski 2017, S. 8). Dieser Prozess der Umformung stellt eine „Über-Setzung [...]“ (Robben 2006, S. 12) im Sinne eines produktiven, das heißt *strukturverändernden* Übertrags dar, der sowohl in seinen technischen als auch pragmatischen Dimensionen einen stark tentativen, das heißt auf technischen Approximationen sowie Trial-and-Error-Praktiken beruhenden Charakter hat, wie noch zu zeigen ist.



Abbildung 3: Simulationspipeline (Quelle: eigene Darstellung nach Winsberg 2010, S. 11)

Die Metapher der „Pipeline“ suggeriere jedoch, so die Darmstädter Autorinnen- und Autorengruppe, dass das, was als Input in diese eingegeben werde, „scheinbar bruchlos [...] weiter nach rechts“ (Gehring/Hubig/Kaminski 2017, S. 9) bewegt werde. Eric WINSBERG

visualisiert die Simulationspipeline als Prozess von “inferential steps” (Winsberg 2010, S. 10), die ausgehend von der Theorie hin zu ihren Resultaten in Form digitaler Daten rekonstruierbar sind. Auch WINSBERG problematisiert die Suggestivkraft der Pipeline, denn der Prozess zeige sehr vereinfacht, wie Simulationen auf Grundlage der Vorannahme entstehen, dass bezüglich der Leistungsstärke des Computers und vorhandener Möglichkeiten, Theorie in einen maschinenlesbaren Algorithmus zu überführen, *keine Einschränkungen bestehen* (vgl. ebd., S. 15).

Die visuelle Darstellung der Simulationspipeline stellt aber auch aus einem weiteren Grund eine Vereinfachung dar: Wird das Simulationsverfahren als epistemische Praktik der Modelliererinnen und Modellierer in Interaktion mit der Computertechnik gedeutet, so ist zu konstatieren, dass es dabei selten so ‚geordnet‘ zugeht, wie die prozesshafte Darstellung der *Pipeline* suggeriert. Die Konstruktion von Computersimulationen muss vielmehr als *rekursiver Prozess* des schrittweisen Aushandelns adäquater Modellbeschreibungen verstanden werden, bei dem sich Modelliererinnen und Modellierer bei der ‚Übersetzung‘ realweltlicher, physikalischer Phänomene in mathematische und schließlich in maschinenlesbare Modelle auf der „Simulationspipeline“ beständig hin- und herbewegen. Dabei können in etwa Resultate an späteren Schnittstellen der „Pipeline“ wiederum Revisionen von Modellierentscheidungen an vorhergehenden Entscheidungsschnittstellen bewirken. Die Konstruktion einer Computersimulation erweist sich damit viel stärker als Prozess des „tinkering“ (Merz 2002, S. 284; vgl. auch Winsberg 2010, S. 16) mit Modellierentscheidungen denn als eindeutige Abfolge zu absolvierender Modellierleistungen von der Theorie hin zur computerbasierten Simulation.

Dies hat auch epistemische Bedeutung und beeinflusst den Kern wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit im Kontext der Computersimulation, denn darin wird ein neuartiger Möglichkeitsraum experimentellen Forschens erschlossen, in dem nicht nur das domänenspezifische Erkenntnisinteresse, sondern stets auch die digitale Technik selbst zum *Wissensobjekt* bzw. *epistemischen Ding* (vgl. Rheinberger 2006) wird. Computersimulationen als rekursive Prozesse der Umformung zeigen zugleich die wechselseitige Abhängigkeit epistemischer Prozesse von sowohl den Entscheidungen der Modelliererinnen und Modellierer als auch der Materialität digitaler Technik. Im Folgenden gehe ich in Rekurs auf die Ausführungen von GRAMELSBERGER noch etwas genauer auf die einzelnen Schritte innerhalb der Simulationspipeline ein. Im Anschluss stehen die erkenntnisprägenden Einflüsse des Computers bzw. der digitalen Technik im Wechselspiel mit den als ‚listig‘ (vgl. Kaminski et al. 2016) erscheinenden Praktiken der Modelliererinnen und Modellierer im Fokus der Analyse. Die Entwicklung von Computersimulationen kann außerdem als Beispiel verteilter Handlungsträgerschaft (vgl. Rammert/Schulz-Schaeffer 2002b) verstanden werden, in der Erkenntnisarbeit nicht in der ‚Vollautomatisierung‘ wissenschaftlicher Analyseprozessen besteht, sondern in einem schrittweisen, erprobenden ‚Sich-Auf-einandereinstellen‘ zwischen Mensch und Technik (vgl. Abschnitt 5.2.3).

In den physikalisch-mathematischen Disziplinen (und das gilt ähnlich auch für andere naturwissenschaftliche Disziplinen) wird zur Beschreibung realweltlicher Phänomene vor allem auf solche Zustandsgrößen zurückgegriffen, die für die Beschreibung ihrer Gesamtheit als *ausreichend* gelten, z. B. Druck, Geschwindigkeit, Stromstärken usw. Für eine weiterführende mathematische Beschreibung dieser Phänomene wird schließlich eruiert, wie diese Größen in ihrer *zeitlichen Entwicklung* beschrieben werden können und wie sie *aneinander gekoppelt* sind. Aus diesen Überlegungen resultieren „konstituierende Gleichungen des betreffenden Systems“. Diese bilden ein „mathematisches Modell für das betrachtete System in der Natur“, dabei handelt es sich in der Regel um Differenzialgleichungen (Herrmann 2017, S. 36), die auf physikalischen Modellen basieren und die „der jeweiligen Fragestellung gemäß hinreichend vereinfacht wurden“ (ebd., S. 38). In Differenzialgleichungen wird das „Änderungsverhalten von Größen“ (ebd., S. 40) formuliert, so ist es beispielsweise von Interesse zu verstehen, wie u. a. Fluide (Flüssigkeiten und Gase) sich im dreidimensionalen Raum verhalten. Die Modellierung des Strömungsverhaltens unterschiedlicher Fluide hat bereits Tradition, da dieses in vielen Disziplinen wie der Astrophysik, Geophysik, Klimaforschung und Medizin von Interesse ist (vgl. ebd., S. 40).

GRAMELSBERGER skizziert die Prozesse der Formalisierung und Mathematisierung in den Naturwissenschaften als Transformationsprozess, den sie als Überführung in „extreme Welten I“ bezeichnet (Gramelsberger 2010, S. 234–241). Gemeint ist damit die Überführung realweltlicher Phänomene und Gegenstände der Naturwissenschaften in mathematische Modelle. Eine weitere ‚Übersetzung‘ erfahren diese aber, wenn sie daran anschließend in Objekte transformiert werden, die von einem Computer verarbeitet werden können. Diesen zweiten Schritt bezeichnet GRAMELSBERGER als Überführung in „extreme Welten II“ (ebd., S. 241–247). Er soll im Folgenden im Kontext der Computersimulation genauer in den Blick genommen werden, da darin wesentliche informationstechnische Bedingungen auch für die allgemeine Verortung der Erkenntnisarbeit ‚im digitalen Wandel‘ deutlich werden.

Bedingung für die Computersimulation ist die computertaugliche „Codierung von Theorie“ (Gramelsberger 2010, S. 234), denn mathematische Modelle können aufgrund ihrer spezifischen Logik nicht eins zu eins in numerische, das heißt in algorithmische Modelle übertragen werden. Für GRAMELSBERGER zeigt sich hierin der „Perspektivwechsel“, den Wissenschaftende vollziehen müssen, „wenn sie als Untersuchungsmethode ihrer mathematischen Modelle deren numerische Berechnung wählen“ (ebd., S. 241), denn hierbei werden die informationstechnischen Voraussetzungen elektronischer Digitalrechner zum konstituierenden und damit auch einzukalkulierenden epistemischen Faktor. Doch was genau passiert an der Schnittstelle vom mathematischen zum computertauglichen Modell?

Diskretisierung: Ein zentraler Schritt vom mathematischen Modell zum computerbasierten Simulationsmodell ist die Diskretisierung, die auf der Idee des Zerlegens eines ‚kontinuierlichen‘ Phänomens in endliche, abgrenzbare Teilprobleme beruht. Dabei werden Phänomene der kontinuierlichen Natur, wie Raum, Fläche oder Zeitintervalle, in „Gitter

mit diskreten Gitterpunkten“ zerlegt (Kaminski et al. 2016, S. 113). Ziel ist es, „Näherungslösungen für ein kontinuierliches Problem durch Lösen eines endlichdimensionalen Ersatzproblems zu gewinnen“, mathematisch bedeutet Diskretisierung in diesem Zusammenhang, „eine Rechnung nicht für jede reelle Zahl vorzunehmen, sondern sie nur an endlich vielen Stützstellen auszuführen“. Diese Stützstellen bilden die besagten Gitter (Herrmann 2017, S. 52). Bei gleichungsbasierten Simulationen in etwa bedeutet Diskretisierung in der Regel die Überführung von Differenzialgleichungen, die auf reellen Zahlen basieren, in Differenzengleichungen (vgl. Winsberg 2010, S. 12), die auf natürlichen Zahlen basieren, da Computer nur natürliche Zahlen prozessieren können. Dabei können allerdings auch „Diskretisierungsfehler“ auftreten (Formanek 2017, S. 18).¹¹² Das Problem der Diskretisierung besteht darin, dass sie keine eindeutig richtigen Lösungen produziert, da eindeutige Differenzlösungen in der Regel nur für lineare Probleme möglich sind (vgl. Krause 1996, S. 15; zit. nach Gramelsberger 2010, S. 242). Bei einer Diskretisierung kann also nicht zweifelsfrei bewiesen werden, dass mathematisches Modell (Differenzialgleichung) und Rechenvorschrift (Differenzengleichung) identisch sind. GRAMELSBERGER folgert daraus, dass die Rechenvorschrift, die Basis für die numerische Umsetzung des theoretischen Modells im Computer ist, als ein *neues Modell* betrachtet werden muss, von dem man „nur hoffen kann, dass es mit dem mathematischen Modell strukturell korrespondiert“ (Gramelsberger 2010, S. 242). Da es jedoch unterschiedliche Diskretisierungsverfahren gibt, müssen sich Modelliererinnen und Modellierer zudem für ein möglichst adäquates entscheiden. Diskretisierungen sind aufwendig und nehmen zum Teil mehrere Monate bis Jahre in Anspruch, daher wird in der Forschungspraxis nicht selten auf bereits fertige Programme bzw. Subroutinen zurückgegriffen (vgl. auch Abschnitt 5.1.3), wie zum Beispiel *Partial Differential Equation Loser* (vgl. Gramelsberger 2010, S. 242). Diskretisierung ist notwendige Voraussetzung der Computersimulation. Unerheblich davon, wie gut und passend das für die Simulation gewählte mathematische Modell ist, können aber durch dessen Diskretisierung auch Unzulänglichkeiten entstehen (vgl. Gramelsberger 2010, S. 243), die im Nachhinein wieder Revisionen auf der Ebene der mathematischen Modelle notwendig machen.

Codierung: Im Anschluss muss das diskretisierte mathematische Modell in ein maschinenlesbares Computerprogramm umgeformt werden, insofern kein fertiges Programm bereits vorhanden ist. GRAMELSBERGER bezeichnet diesen Teilschritt als Prozess der Codierung. Codierung ist die Umformulierung von Rechenvorschriften in ein computerlesbares Format, bei dem mathematische Gleichungen, die oftmals analytischer, impliziter

¹¹² Da Differenzialgleichungen in der Physik von großer Bedeutung sind, werden gleichungsbasierte Simulationen hauptsächlich in der Physik verwendet. Neben den gleichungsbasierten Simulationen gibt es aber auch andere Simulationsarten wie *Zelluläre Automaten*, die insbesondere für die Erforschung *emergenter* Phänomene von Interesse sind, *agentenbasierte Simulationen*, die in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften Anwendung finden, sowie *Monte-Carlo-Simulationen*, die auf „Zufallsexperimenten“ beruhen und in fast allen Wissenschaften, die sich Simulationen zunutze machen, Anwendung finden (Formanek 2017, S. 23–30).

Natur sind, in explizite Prozessabläufe überführt werden müssen. Insofern bedeutet Codierung die „Ausbuchstabierung der mathematisch notierten Operationen in Form maschinentauglicher Anweisungen“ (Gramelsberger 2010, S. 243). Dieser Vorgang wäre im Übrigen auch dann notwendig, wenn die Berechnungen durch einen menschlichen ‚Computer‘ (jedoch ohne reflexive Zuwendung der Rechnenden) ‚abgearbeitet‘ werden sollen (vgl. Goldstine/Neumann 1947, S. 19; Gramelsberger 2010, S. 243). Der Vorgang der Codierung sorgt dabei für eine „Dynamisierung“ der im mathematischen Modell nur statisch vorliegenden Rechenvorschriften. Im Codervorgang werden die statischen mathematischen Rechenvorschriften „in dynamische Abläufe“ und „abarbeitbare Anweisungen“ überführt, wobei sich im Sinne der Rekursivität (vgl. Abschnitt 3.3) jede Anweisung aus der vorherigen ergeben muss (Gramelsberger 2010, S. 243). Diese sind dabei nicht als logische, deduktive Folgerungen zu verstehen, sondern im Sinne boolscher Operatoren als Anweisungen zur Herstellung prozesslogischer Kohärenz¹¹³ (vgl. Gramelsberger 2010, S. 243 f.). Darin unterscheidet sich das codierte Modell vom mathematischen, denn es „folgt zwar der logischen Struktur des mathematischen, aber eben nicht in einem deduktiven Sinne. Die mathematische Struktur wird in Hinblick auf die Berechnung des Modells informatisch rekonstruiert“ (ebd., S. 243 f.).

Die im Codervorgang vollzogene „Ausbuchstabierung der mathematischen Operationen in maschinentaugliche Anweisungen“ erfordert zugleich auch die Explizierung der „veränderlichen Zustandsgrößen und Parameter“ des Modells, und zwar „für den kompletten, diskreten Berechnungsraum“. Das heißt, dass Zustandsgrößen und Parameter, die im mathematischen Modell durch einfache Symbole, wie etwa *Qmli* für das Schmelzen des Eises in einer Wolke, ausgedrückt werden, nun für „sämtliche Knotenpunkte eines Berechnungsrasters berücksichtigt“ und in computerprozessierbare Anweisungen transformiert werden müssen. Diese Art des Ausbuchstabierens und Explizierens im Rahmen des Codervorgangs gilt für GRAMELSBERGER deswegen als „extrem“, da sie „die eleganten Notationen, die sich unter Umständen auf ein Blatt Papier schreiben lassen, in Tausende von Codezeilen und Tausende von Berechnungspunkten“ auflösen (Gramelsberger 2010, S. 244).

Choreographierung: Im Rahmen des Codierungsvorgangs genügt es jedoch nicht, „nur die Menge der einzelnen Anweisungen und Berechnungspunkte“ zu zerlegen, sondern diese müssen „in Form einer komplexen Choreographie von Abläufen, Schleifen und Entscheidungspfaden strukturiert werden“. Dabei wird die „Simultanität“ von Prozessen, die das zu simulierende Phänomen erfassen, z. B. den Zustand der Atmosphäre in der Klimamodellierung, in nacheinander zu prozessierende Teilprozesse zerlegt, die „Zeitschritt für Zeitschritt für die Menge aller Berechnungspunkte das Phänomen iterativ erzeugen“. Erst dieser explizierte und choreographierte Zusammenschluss von Anweisungen und Berechnungspunkten bildet schließlich das Simulationsprogramm. Dabei hängt

¹¹³ Beispielsweise die Anweisung „do (if … then … else … end if)“ end do, return“ (Gramelsberger 2010, S. 243).

es von der Qualität des Programms ab, ob die dabei zu durchlaufenden Prozesse der „mathematischen wie der beobachteten und gemessenen empirischen Struktur nahekommen“ (Gramelsberger 2010, S. 245).

Numerische Explizierung: Nach der Codierung und algorithmischen Choreographierung der Abläufe im Programm erfolgt jedoch noch ein weiterer Schritt: Alle im Simulationsmodell verwendeten Konstanten und Parameter müssen numerisch expliziert werden, das heißt jede „Zustandsgröße bedarf für jeden Berechnungspunkt der numerischen Initialisierung“ (Gramelsberger 2010, S. 245). Es müssen also Ausgangswerte für alle verwendeten Größen gefunden werden, dies erfolgt in der Regel auf Basis von Messwerten. Als komplexe Struktur können Computersimulationen zwar zahlreiche Zustandsgrößen und Parameter berücksichtigen, können daher beispielsweise auch komplexe geometrische Formen wählen und nicht lediglich Extrembedingungen prozessieren. Damit wird es einerseits also möglich, die „Freiheitsgrade eines Systems beliebig zu erweitern“ (ebd., S. 245). Durch diese beliebig vielen Erweiterungsmöglichkeiten entstehen andererseits aber äußerst komplexe Gebilde, bei denen numerische Lösungen am Ende stets „abhängig von ihrer numerischen Initialisierung“ und damit von den gewählten Ausgangswerten sind. Dabei können schon geringfügige Änderungen zu anderen Resultaten führen bzw. „von der eigentlichen Lösung wegführen“. Außerdem ist es in diesem Zusammenhang problematisch, dass die „Eindeutigkeit der finiten Approximation“ nicht nachweisbar ist, also nicht zu beurteilen ist, „ob die Resultate des berechneten Systems dem mathematischen Modell überhaupt entsprechen“ (ebd., S. 245).

An unterschiedlichen Stellen der oben beschriebenen Teilschritte der Entwicklung einer Computersimulation wird deutlich, dass diese mitnichten eine einfache schrittweise Überführung „einer formalen Struktur“ entlang der Simulationspipeline bedeutet. Anders als das Ideal der Simulationspipeline suggeriert, lassen sich formale Beschreibungen von Welt nämlich nicht „strukturerhaltend“ in ein mathematisches Modell und schließlich in „Programmcode“ übersetzen, der auf Rechenmaschinen ausführbar ist (Kaminski et al. 2016, S. 100–102). Letzteres wird vielmehr nur über „Umwege“, „Kniffe und Tricks“ (ebd., S. 104) – und das heißt „technische List“ (ebd. S. 102) – erreicht. Die bedeutendste Überlistung stellt für KAMINSKI ET AL. (2016) die numerische Modellbildung dar. Das numerische Modell ist gegenüber dem mathematischen Modell nicht „strukturgleich“, sondern nur eine Näherung. Aber erst durch sie wird eine Simulation überhaupt „technisch möglich“ (Kaminski et al. 2016, S. 102). KAMINSKI ET AL. bezeichnen diesen Akt des Überlistens als die spezifische „Technizität des Simulationsprozesses“ (ebd., S. 121).

Die ‚Überlistung‘ beginnt bereits bei der Entwicklung mathematischer Beschreibungen für die zu simulierenden Phänomene, wie beispielsweise Klimaphänomene. Bereits hier hat man es mit Näherungen zu tun, denn die Komplexität sinnlicher Erscheinungen, wie beispielsweise Wetterphänomene, lässt sich nicht auf einen einfachen mathematisch fassbaren „Kern“ reduzieren (Kaminski et al. 2016, S. 105). KAMINSKI ET AL. erklären dies anhand der *Navier-Stokes-Gleichungen*, die Teil der etablierten Gleichungen zur Be-

schreibung von Wetterphänomenen sind. Als partielle Differenzialgleichungen (s. o.) liefern sie mathematische Beschreibungen für das Verhalten von Strömungen (vgl. ebd., S. 106). Differenzialgleichungen sind jedoch noch keine numerischen, algorithmischen Beschreibungen, denn sie repräsentieren zwar eine mathematische Vereinfachung realweltlicher Prozesse, sind aber anders konstruiert: Vor dem Hintergrund der NEWTON'schen und LEIBNIZ'schen Infinitesimalrechnung operieren sie auf Grundlage des Prinzips der Unendlichkeit: Differenziale sind Grenzwerte „„unendlich kleiner“ Differenzquotienten“. Die numerische, das heißt algorithmische Approximation dagegen basiert auf der endlichen und diskreten Zerlegung kontinuierlicher Zusammenhänge in „Teilgebiete ‚finitesimaler‘ Größe“, dass heißt vor allem der Wechsel von Differenzialgleichungen in *Differenzengleichungen*, wie oben bereits skizziert. Dieses Verfahren haben KAMINSKI ET AL. als *die „fundamentale List“* im Zusammenhang der Computersimulation hervor, ein Verfahren, das sich allerdings nur durch die Preisgabe bestimmter algebraischer Eigenschaften realisieren lässt (Kaminski et al. 2016, S. 107). Geopfert wird dabei vor allem die Flexibilität der algebraischen Rechnung, denn die algorithmischen Approximationen müssen stets neu berechnet werden, wenn Randbedingungen der Simulation sich ändern (ebd., S. 108).

Indem in numerischen Approximationen Differenzenquotienten statt Differenziale verwendet werden (vgl. Kaminski et al. 2016, S. 107), können Gleichungen zur Simulation realweltlicher Phänomene, wie die Navier-Stokes-Gleichungen, numerisch approximiert werden. Diese Approximationen können dann in einem Algorithmus beschrieben werden, der die notwendigen Bestandteile in schrittweise Rechenoperationen auflöst, die wiederum in einem Programm formuliert werden können, das jene Operationen bis hinein in die elektrotonischen Schaltkreise der Computerhardware auszuführen vermag (vgl. ebd., S. 107). Die Notwendigkeit der dabei angewandten ‚Listen‘ lässt sich also letztlich bis in die Hardware zurückverfolgen, was letztlich auf eine „Umkehrung“ der Richtung der Simulationspipeline verweist, denn spätere Schritte, insbesondere die, bei denen es um die hardwaretechnische Umsetzung geht, „weisen bestimmte Anforderungen auf, die bereits auf vorhergehenden Stufen beachtet und vorbereitet werden müssen“ (ebd., S. 120).

Um kontinuierliche realweltliche Phänomene mithilfe der endlichen Ressourcen aktueller Rechnerarchitekturen überhaupt berechnen zu können, ist, neben der oben beschriebenen grundlegenden „List“, auch eine Approximation von Zahlenwerten notwendig: Prozessoren, die mittels in Transistoren verbauter logischer Schaltungen nur zwei Zustände miteinander verrechnen können, können prinzipiell nur mit diskreten Zuständen, das heißt also *ganzen Zahlen* rechnen. Kontinuierliche Phänomene werden aber durch *reelle Zahlen* dargestellt. Zur diskreten Approximation reeller Zahlen bedarf es wieder eines listenreichen Verfahrens, das beispielsweise durch die sogenannte Gleitpunktarithmetik bzw. *Gleitpunktdarstellung* von Zahlen erreicht werden kann (vgl. Kaminski et al. 2016, S. 116). Dabei handelt es sich um ein „Konstrukt, um reelle Zahlen mit endlichen Mitteln näherungsweise darstellen zu können“ (ebd., S. 118).

Für numerische Approximationen von Gleichungssystemen sind zudem *lineare Gleichungen* von zentraler Bedeutung, die durch Matrizen beschrieben werden und wesent-

liche Eigenschaften des physikalischen Phänomens enthalten. Lineare Gleichungssysteme sind Gegenstand der Linearen Algebra und theoretisch gut erschlossen. Möglichkeiten, diese maschinentauglich umzusetzen, gibt es zwar, diese sind allerdings aufwendig und es können aufgrund der Computerarithmetik Ungenauigkeiten entstehen, die wiederum mit ‚Tricks‘ ausgeglichen werden müssen, so beispielsweise durch sogenannte *Fixpunktiterationen*, mit der arithmetische Fehler sich herausrechnen lassen und die als „kluge List verstanden werden, schwierigen numerischen Problemen Schritt für Schritt eine bessere Lösung abzuringen“ (Kaminski et al. 2016, S. 109). Eine Abmilderung jener computerarithmetischen Ungenauigkeiten und Fehler bei der Übersetzung realweltlicher Phänomene in ein numerisches Modell erfolgt dabei auch durch *Parametrisierung*, also die Beschreibung zusätzlicher Parameter¹¹⁴. Parametrisierungen sind auch deshalb notwendig, da aufgrund der Diskretisierung der Grundgleichungen viele Variablen nur als Mittelwerte erfasst und „subskalige“ Werte dabei unterschlagen werden (Gramelsberger 2010, S. 192). Die zusätzliche Einführung von Parametern fungiert damit als ‚Trick‘ zum Ausgleich jener Kenngrößen, Eigenschaften und Prozesse, die im diskretisierten Modell „durch das Berechnungsraster“ fallen (ebd., S. 87, Fußnote 1).

Ein weiterer Faktor, der nach KAMINSKI ET AL. im Zuge der Simulation einer Überlistung bedarf, ist die *Zeit*. Die nach wie vor vorhandenen Begrenzungen aktueller Hardware sorgen dafür, dass gerade komplexe Simulationen zeitlich zu aufwendig werden, wenn nicht mit „immer feineren technischen und handwerklichen Tricks“ versucht würde, sowohl die Rechengeschwindigkeit zu erhöhen, als auch Rechenaufwände für einzelne Probleme zu minimieren (Kaminski et al. 2016, S. 108).¹¹⁵ Rechenaufwand kann u. a. programmiertechnisch reduziert werden, so beispielsweise durch Strategien der *effizienten Programmierung* (vgl. Cormen et al. 2013, S. 9–13). Effizienzsteigerungen können aber auch hardwaretechnisch durch *Parallelisierung* erreicht werden: Da sich einzelne Prozessoren heute nicht mehr wesentlich beschleunigen lassen, werden stattdessen Systeme entwickelt, die mit mehreren Prozessoren gleichzeitig operieren. Auf solchen beruhen inzwischen die meisten Höchstleistungsrechensysteme, die teils Hundertausende Prozessoren parallel einsetzen (vgl. Kaminski et al. 2016, S. 119; BMBF 2021, S. 3). Eine solche ‚Überlistung‘ durch Parallelkonstruktionen kann jedoch erhebliche Auswirkungen auf die Simulationsmodelle haben, denn hier können vorwiegend nur solche entwickelt

¹¹⁴ GRAMELSBERGER beschreibt dies in Bezug auf die Klimamodellierung z. B. für die Wirkung von Schmelzvorgängen in stratiformen Wolken, die zu feinrastrig sind, als dass sie im viel geringer aufgelösten Diskretisierungsgitter der computertauglich codierten Gleichungen berücksichtigt werden könnten. Diese Unzulänglichkeit muss durch das Hinzufügen von Parametern ausgeglichen werden „die den Netto-Effekt der nichtaufgelösten Prozesse auf die durch Diskretisierung aufgelösten Prozesse darstellen“ (Gramelsberger 2010, S. 192).

¹¹⁵ So müssen beispielsweise die bereits durch die Diskretisierung vereinfachten Navier-Stokes-Gleichungen weiterhin strukturell vereinfacht werden, da sie nach wie vor sehr rechenaufwendig sind. Dies erfolgt beispielsweise durch die sogenannte *Turbulenzmodellierung*, die zur Reduktion des Rechenaufwands die „Anzahl der feinen Wirbel“ verfälscht (Kaminski et al. 2016, S. 108 f.).

werden, die sich auch entsprechend in einzelne Teilgebiete zerlegen lassen¹¹⁶ oder aber die unterliegenden mathematischen Modelle werden so modifiziert, dass entsprechende Zerlegungen möglich werden (vgl. Kaminski et al. 2016, S. 119 f.).

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Wirkmächtigkeit des Computers im Kontext der Computersimulation vor allem durch die oftmals trickreichen „informatischen Praktiken“ (Gramelsberger 2010, S. 247) entstehen. Was GRAMELSBERGER als Überführung der *extremen Welten I* in die *extremen Welten II* beschreibt, kann nur über Listen und Umwege bewerkstelligt werden. Während die „extremen Welten I“ der mathematischen Modelle die kontinuierlichen Phänomene in formalen Beschreibungen und mathematischen Abkürzungen notiert, „lösen die extremen Welten der codierten Rechenvorschriften diese Abkürzungen in zahllose Einzelanweisungen und Konkretisierungen auf“ (ebd., S. 244). Darin manifestiert sich schließlich auch ein „semiotisches Paradox“, denn der symbolische Umgang der auf ein Rechnen mit Unendlichkeit ausgelegten Differenzialgleichungen – eine der ursprünglich zentralen Errungenschaften der mathematisierten Naturwissenschaften – lässt sich im Computer nur durch „endliche Anweisungen“ und „Abbruchkriterien“ realisieren, da sich nur durch explizite und endliche Anweisungen „effektive Rechenvorschriften“ generieren lassen, die von den technischen Systemen ausgeführt werden können. Das in Differenzialgleichungen zentrale Prinzip der Unendlichkeit wird dabei lediglich approximiert (vgl. ebd., S. 244). Der Preis für die Überführung kontinuierlicher Phänomene in die begrenzte diskrete Sprache digitaler Rechnerarchitekturen ist dabei unter anderem, dass die „elaborierten mathematischen Sprachen aufgegeben werden“ müssen (Kaminski et al. 2016, S. 121). Zugleich bedeutet es, dass die von links nach rechts verlaufende Simulationspipeline hier eine Umkehrung erfährt, insofern die „Zielsprache“ der Hardwarearchitektur auch rekursiv auf die „Ausgangssprache“, also das grundgelegte mathematische Modell rückwirkt (ebd., S. 120) und darin eine gewisse „iterative Selbstbezüglichkeit“ (Gramelsberger 2010, S. 244) jener „extremen Welten“ der codierten Rechenvorschriften zum Ausdruck kommt. Erreicht wird dadurch aber – und hierin besteht das Transformationspotential digitaler Technik – die *Dynamisierung* der mathematischen Berechnungsmöglichkeiten, indem die ehemals „intrasyntaktische [...] Denotation“ der Rechenvorschriften in „intrasyntaktische Indexikalisierungen“ (Gramelsberger 2010, S. 249), und damit in maschinell ausführbare Anweisungen „übersetzt“ werden können.

Es bleibt jedoch die Frage: Sind diese „Übersetzungen geglückt“ (vgl. Gramelsberger 2010, S. 250)? Denn genau für diese Übersetzungsleistungen der Modelliererinnen und Modellierer existieren gerade keine expliziten Handlungsvorschriften, sondern lediglich „Erfahrungswerte“ (ebd., S. 247), die im Rahmen der Modellierung von Computersimulationen durch ‚trickreiches‘ Ausprobieren bzw. in Trial-and-Error-Verfahren erschlossen werden. Dabei gleicht das Entwickeln von Simulationen einem „Herumspielen mit verschiedenen Elementen, wie es auch die experimentelle Arbeit im Labor charakterisiert“

¹¹⁶ So können Diskretisierungsgitter durch eine Aufteilung in Teilgebiete gleichzeitig berechnet werden, wodurch sich die Bearbeitungsgeschwindigkeit erhöht (vgl. Kaminski et al. 2016, S. 113).

(Merz 2002, S. 284). Im Folgenden wird erörtert, was ‚geglückte‘ Übersetzungen eigentlich ausmachen und durch welche produktiven Praktiken die forschenden Modelliererinnen und Modellierer in den ‚Simulationswerkstätten‘ zu ihnen gelangen.

Modellierung als Tinkering – zum Werkstattcharakter der Computersimulation

Im Hinblick auf die Verlässlichkeit der durch die oben beschriebenen Prozesse konstruierten Simulationsmodelle lässt sich feststellen, dass ein vormals adäquates mathematisches Modell nicht nur durch Diskretisierung inadäquat wird, sondern auch durch die „Wahl der Anfangs- und Randbedingungen“ (Gramelsberger 2010, S. 246). Anders als für Diskretisierungsvorgänge gibt es für die Wahl der Anfangs- und Randbedingungen und Parametrisierungen keine vorgefertigten Lösungen oder Anleitungen für deren adäquate Darstellung. Vielmehr verlangt jede Änderung im „experimentellen Setting [...]“ eine neue Überprüfung“ und jedes Simulationsresultat erlangt seine Gültigkeit lediglich in Relation zu seiner jeweiligen „numerische[n] Initialisierung“ (ebd., S. 246) – damit aber letztlich aufgrund von Menschen getroffener Vorentscheidungen und Vorstrukturierungen. Deutlich wird, dass die Computersimulation kein Abbildungsverhältnis, sondern lediglich einen prozesslogisch nachvollziehbaren Zusammenhang herstellt. Entsprechend verlangt sie auch kompensatorische Strategien der Validierung sowie unterschiedliche Praktiken der Herstellung von Stabilität, über die – und zwar immer wieder neu – die Zuverlässigkeit der Modelle überprüft werden können. Evidenzansprüche an Computerexperimente werden dabei durch „computerexperimentelle Korrektive“ gesichert, darunter beispielsweise Konvergenztests oder technische Maßnahmen, die dafür sorgen, dass das Experimentalsystem nicht ‚abstürzt‘ (Gramelsberger 2010, S. 274).

Die Verlässlichkeit der Simulationsmodelle und Programmierung wird dabei schrittweise ausgelotet und optimiert. Ziel ist es festzustellen, welche Eigenschaften der aus den Simulationsläufen resultierenden ‚Zahlenhaufen‘ als vertrauenswürdig sowie erkenntniserweiternd gelten können und nicht lediglich Simulationsartefakte darstellen. Solche praktischen Validierungs- und Verifikationsverfahren sind daher WINSBERG zufolge wesentlicher Bestandteil einer *Epistemologie der Simulation* (vgl. Winsberg 2010, S. 19), die sich in ihrer Ausführung und Zielsetzung von Rechtfertigungsstrategien in nicht-computerbasierten Experimentalsystemen unterscheiden. Im Kontext der von WINSBERG skizzierten *Validierungsstrategien* geht es darum, festzustellen, ob das gewählte mathematische Modell das realweltliche Phänomen in geeigneter Weise repräsentiert. Im Rahmen von *Verifikationsstrategien* wird dagegen die *Angemessenheit* der informatischen Umsetzung der Simulation geprüft, beispielsweise, ob die Resultate einer Simulation die Lösungen der ihnen vorausgehenden Differentialgleichungen angemessen approximieren (vgl. Winsberg 2010, S. 19 f.). Validierung und Verifikation finden jedoch nicht unabhängig voneinander statt, denn Modelliererinnen und Modellierer entscheiden sich oft für Modelle, die sie auf einer rein theoretischen Basis nicht oder nur schwach begründen können. Aber auch die mathematischen Argumente bilden häufig nur eine schwache Grundlage für den Anspruch, dass die Resultate einer Simulation den mathematischen Gehalt sowie die realweltlichen Zusammenhänge jener Modelle adäquat approximieren

(vgl. ebd., S. 23). Die Prüfung der Verlässlichkeit von Simulationen erfolgt also nicht auf Basis einer klaren Trennung von Verifikations- und Validierungsstrategien, sondern eher auf Grundlage konvergierender Rechtfertigungsstrategien – und die haben WINSBERG zu folge mehr mit ‚Finesse‘ zu tun als mit theoretischer Fundierung: “What simulationists are forced to do is to focus [...] on establishing that the *combined* effect of the models they begin with and the computational methods they employ provide results that are reliable enough for their intended purposes. This, of course, is hard. And it requires more finesse than we would expect if we thought that the activities of verification and validation could be kept entirely conceptually separate” (ebd., S. 23 f.; H. i. O.).

WINSBERG betont, dass Verifikation und Validierung in der Praxis zwar sehr wohl zwei voneinander separierbare Aktivitäten der Wissenschaftenden darstellen, dass diese Separierung auf reflexiver Ebene jedoch nicht dazu führen dürfe, deren Überschneidungen und epistemische Wechselwirkungen zu vernachlässigen. Für die von WINSBERG beabsichtigten Konturierung einer *Epistemologie der Simulation* müsse deutlich werden, dass sich die theoretische Auseinandersetzung von den mathematischen und informatischen Fragen der Überführung von (z. B. physikalischer) Theorie in ein Simulationsmodell nicht trennen lässt (vgl. Winsberg 2010, S. 26). WINSBERG verweist ebenfalls auf die Unzulänglichkeit der vereinfachten Darstellung der Simulationspipeline als geordneter Prozess des Schlussfolgerns und betont demgegenüber das *tentative* Vorgehen bei der Konstruktion von Simulationsmodellen, das er mit dem Begriff des *Tinkering* fasst (vgl. ebd., S. 16). Dabei bilden physikalische sowie mathematische Theorien zwar den Ausgangspunkt der Simulationspipeline (vgl. Abbildung 3). Diese sind im Prozess des schrittweisen Herantastens an eine algorithmische Umsetzung aber mitunter starken Modifikationen ausgesetzt, wie im Kontext der Skizzierung von Simulationen als „List“ bereits aufgezeigt. Als ein Beispiel nennt WINSBERG die Erforschung des Strömungsverhaltens von Flüssigkeiten, dieses kann in einigen Teilen gut auf Grundlage einer Form der Navier-Stokes-Gleichung simuliert werden, aber im komplexen Gesamtkonzept des Modells kann diese teils unbrauchbare Singularitäten produzieren (vgl. Winsberg 2010, S. 27).

Entsprechende Begrenzungen und Unzulänglichkeiten anfänglicher Modellentscheidungen stellen sich dabei meist erst dann heraus, wenn die Simulationspipeline einmal durchlaufen wurde, denn “[i]t is only after simulationists observe the artifacts generated by their original choices that they go back and tinker with their choice of the model to be discretized, attempting to get better results the next time” (Winsberg 2010, S. 16). Bei der Genese der Simulation können solche Rückkopplungsschleifen vom Resultat zurück zur Modellentscheidung aber auch dazu führen, dass vom fachlichen (z. B. physikalischen) bzw. mathematischen Modell abgewichen werden muss oder bestimmte Faktoren im fachlich fundierten Modells in der Erstellung des Algorithmus überhaupt nicht berücksichtigt werden können, auch wenn bekannt ist, dass diese das Phänomen beeinflussen (vgl. Kaminski et al. 2016, S. 94). Rückkopplungsprozesse, die im Modellierprozess vom Simulationsresultat wieder auf die anfänglichen Modellierentscheidungen rückwirken, markieren die Entwicklung von Simulationsmodellen als einen Prozess *verteilter Interpretation* bzw. “distributed interpretation” (Schäffer/Lieder 2023, S. 120), der zwischen

Wissenschaftenden und technischem System stattfindet (vgl. Abschnitt 5.2.3). In diesem Sinne sind computerbasierte Experimentalsysteme, wie sie im Kontext der Computersimulation entstehen, stets „evolvierende Systeme“, das heißt, dass sie sich im Laufe des Forschungsprozesses verändern, indem durch sie generierte Resultate wieder inkorporiert werden. Dieser Evolutionsprozess lässt sich GRAMELSBERGER zufolge „anhand des permanent wachsenden Umfanges des Codes und der aufeinander folgenden Modellversionen und -generationen explizit nachvollziehen“ (Gramelsberger 2010, S. 147).

Der „Werkstattcharakter“ (Gramelsberger 2010, S. 157) dieses evolutionären Geneseprozesses von Computerexperimenten lässt sich dabei u. a. in der Klimamodellierung nachvollziehen. GRAMELSBERGER hat diesen u. a. anhand der Genese des Atmosphärenmodells ECHAM5 des Max-Plack-Instituts (mpimet.mpg.de/en/science/models/mpiesm/echam) für Meteorologie aufgezeigt. Ein computerbasiertes Experimentalsystem wie ECHAM5 besteht aus zahlreichen (zur Zeit von GRAMELSBERGERS Untersuchung „200“) „miteinander in Interaktion stehenden Dateien“, die „über Jahre, oder gar Jahrzehnte, in Generationen von Modellversionen in einem kollektiven Schreibprozess entwickelt“ wurden (ebd., S. 147 f.). Dabei verändert jede „Änderung der Programmierung [...]“ gleichzeitig das Experimentalsystem und das theoriebasierte Setting wie auch das Experiment“. Der besagte „Werkstattcharakter“ kommt dabei darin zum Ausdruck, dass Computerexperimente „eher einem permanenten Rekonfigurieren, Differenzieren und (Re-)Arrangieren [gleichen] als einem exakt definierten, deduktiven Frage-und-Antwort-Vorgang“ (ebd., S. 157). Experimentieren innerhalb computerbasierter Experimentalsysteme bedeutet zunächst praktisch, dass „Simulationsläufe“ durchgeführt werden, denn bevor Simulationen für Prognosen verwendet werden können, sind Testläufe erforderlich, in denen das Modell u. a. anhand von Messdaten evaluiert und auf seine Verlässlichkeit geprüft werden kann. Die Testphase für das Atmosphärenmodell ECHAM5, das GRAMELSBERGER untersucht hatte, dauerte etwa zwei Jahre, in denen das Modell jeweils „als Antwort auf die Testergebnisse“ sukzessive verbessert wurde. Jedoch auch während des späteren Experiments selbst werden „immer wieder Testläufe in höherer Auflösung durchgeführt, um die Stabilität der Resultate während des Experiments zu kontrollieren“ (ebd., S. 159). Es kommt dabei nicht von ungefähr, dass ein großer Teil des experimentellen Handelns in der Simulationsarbeit in der *Fehlersuche* besteht. Fehler sind Ausdruck jener bereits beschriebenen Differenz zwischen mathematischem und computertauglich codiertem Modell und damit gleichwohl „Zugeständnisse an die Logik der Rechner“ (ebd., S. 171). Gerade das Suchen nach Fehlern in den Modellen stellt sich GRAMELSBERGER zufolge als der „epistemisch wohl fruchtbarste Prozess“ (Gramelsberger 2010, S. 226) heraus, denn für viele Wissenschaftskontexte sind die dabei immer wieder vollzogenen „Rückkopplungen zu Teilen der zugrundeliegenden Theorie, des Codes, aber auch zu den empirischen Quellen während des Konstruktionsprozesses“ von zentraler erkenntnisprägender Bedeutung (ebd., S. 226).

Wie bereits erwähnt, besteht GRAMELSBERGER zufolge das Problem des Experimentierens in symbolischen Räumen vor allem in der fehlenden materialen Widerständigkeit der Forschungsobjekte. Materiale Widerständigkeit und experimentelles Scheitern gehören

in der Regel zur experimentellen Wissenskultur. Während Forschende im realweltlichen Labor „auf mehr oder weniger hartnäckige Widerstände und Widerspenstigkeiten des Materials“ stoßen (Rheinberger 2006, S. 283), kann sich das Experimentieren im symbolischen Raum nicht „wie im klassischen Experimentallabor auf materiale Widerständigkeit und materiale Wiederholbarkeit als Korrektiv“ (Gramelsberger 2010, S. 272) berufen. Hier behelfen sich Forschende im Computerlabor damit, dass sie den technischen Experimentalraum nicht allein als Theorieraum, sondern als „Möglichkeitsraum“ konzipieren, in dem die technischen Möglichkeiten selbst zum *Gegenstand* experimentellen Forschens werden (ebd., S. 272 f.).

Auch Martina MERZ hat im Kontext der wissenschaftlichen Computersimulation die schwere Trennbarkeit zwischen der Beschäftigung mit den *technischen Voraussetzungen* einer Simulation und dem domänenspezifischen Erkenntnisinteresse der Computersimulation festgestellt, denn Simulationen erscheinen Forschenden oftmals als widerspenstig, einerseits, da „simulierte Daten den Grad ihrer Zuverlässigkeit nicht ohne weiteres“ offenbaren, andererseits aber auch, da gerade unerwartete Ereignisse in Simulationen oftmals auf vielfache Ursachen zurückgeführt werden können, Simulationen und die ihnen unterliegende Technik also selten für eindeutige Antworten sorgen: „Das Objekt mutiert quasi unter der Hand von einer Antwortmaschine in eine (die Physiker herausfordernde) Fragemaschine“ (Merz 2002, S. 280). Erkenntnisgewinn im Kontext der Computersimulation resultiert hierbei weniger aus dem fertigen Konstrukt der Computersimulation und den Resultaten, die es produziert, sondern aus den „permanenteren Verbesserungen und Tests“ sowie dem „Einrichten, Justieren und Verändern des *in-silico* Experimentsystems“ (Gramelsberger 2010, S. 225) – damit aber auch aus der steten Auseinandersetzung mit der Technik selbst, die hier zum *epistemischen Ding* (vgl. Rheinberger 2006) wird.

Der Terminus des epistemischen Dings stammt, wie bereits erwähnt, aus Hans-Jörg RHEINBERGERS Analyse naturwissenschaftlicher Experimentsysteme und zeigt eine – am Experimentalbegriff orientierte – Sichtweise der in dieser Studie zentralen Verhältnisbestimmung von technischer *Struktur* und Erkenntnis- und Handlungsmöglichkeiten der Wissenschaftenden auf. Im folgenden Abschnitt werden ausgehend von RHEINBERGERS Überlegungen zu *epistemischen* und *technischen Dingen* die wesentlichen Erkenntnisse aus der Analyse generischer und generativer digitaler Forschungstechnik zusammengefasst und dabei zentrale Anknüpfungspunkte für die darauffolgende bildungsorientierte Auseinandersetzung mit der Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen aufgezeigt. Der wesentliche Einsprungspunkt für die Suche nach Orientierungsmöglichkeiten findet sich dabei, wie noch zu argumentieren ist, im Zusammendenken des Handelns mit Technik als *Mittel* und der daran anknüpfenden interessengeleiteten Auseinandersetzung mit Technik als *Erkenntnisobjekt*.

5.3 Zur Epistemologie digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit – Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse

5.3.1 Epistemische und technische Dinge

Die Relationalität von Wissensobjekten und den technischen Strukturen ihrer Sichtbarmachung hat Hans-Jörg RHEINBERGER in seiner Studie *Experimentalsysteme und epistemische Dinge* aufgezeigt und dabei die Struktur von Experimentalsystemen als ein Ineinandergreifen *technischer* und *epistemischer* Dinge (vgl. Rheinberger 2006, S. 27) entfaltet. Epistemische Dinge sind die Erkenntnisobjekte, denen die „Anstrengung“ wissenschaftlichen Handelns und das Erkenntnisinteresse gilt, darunter fallen die Untersuchungsgegenstände, ihre Strukturen, Reaktionen und Funktionen. Epistemische Dinge zeichnen sich durch ihre anfängliche „Verschwommenheit und Vagheit“ aus, die allerdings nicht als „defizitär“ zu werten ist, sondern als „handlungsbestimmend“ (ebd., S. 27), insofern sie wissenschaftliche Erkenntnisarbeit erst auslöst. Epistemische Dinge sind vorläufig und undefiniert, sie verkörpern schlicht das, „was man noch nicht weiß“ (ebd., S. 28). Ihnen kommt dabei ein paradoxer Status zu, insofern sie in ihrer „experimentellen Präsenz in gewisser Weise abwesend“ sind. Epistemische Dinge sind allerdings nicht einfach verborgen und müssen im Experiment lediglich „ans Licht gezogen“ werden, sondern sie sind materiell überhaupt noch nicht existent: Das Experimentalsystem, so RHEINBERGER, dient ja gerade dazu, epistemische Dinge einer „materiellen Definition“ erst zuzuführen (Rheinberger 1992, S. 70). Insofern sind die „Wissenschaftsobjekte“ im biologischen Labor per se keine materiellen Dinge, sondern „epistemisch konfigurierte Objekte“. Diese müssen durch einen beständigen Prozess des „operationalen Umdefinierens“ (Rheinberger 2006, S. 29) erst „herausgeschält“ werden. Diesen Vorgang beschreibt RHEINBERGER anhand der „Proteinsynthese im Reagenzglas“, wie es im Untertitel seiner Schrift heißt.

Für einen solchen Prozess des materialen Herausdefinierens epistemischer Dinge sind stabile Umgebungen notwendig, die in RHEINBERGERS Systematik der Experimentalsysteme von *technischen Dingen* gewährleistet werden (vgl. Rheinberger 2006, S. 29). So beginnt biologische Forschung nach RHEINBERGER nicht etwa mit der Wahl eines theoretischen Bezugsrahmens, sondern stets mit der Wahl eines technischen „Systems“ (ebd., S. 22). Als *technische Dinge* gelten RHEINBERGER die „Experimentalbedingungen“ (Rheinberger 2006, S. 29), die epistemische Dinge überhaupt erst „hervortreten“ lassen (ebd., S. 29) und die es erlauben, das epistemische Ding überhaupt „anzufassen, mit ihm umzugehen“. Technische Dinge „begrenzen“ epistemische Dinge aber auch, indem sie beispielsweise deren „Repräsentationsweise“ (Rheinberger 1992, S. 70) bestimmen. Im Gegensatz zur Unbestimmtheit der epistemischen Dinge sind technische Dinge von „charakteristischer Bestimmtheit“ (Rheinberger 2006, S. 29). Ausreichend stabilisierte epistemische Dinge können später aber auch zu „konstituierenden Momenten der experimentellen Anordnung“ und damit selbst zu technischen Dingen werden. Karin KNORR CETINA deutet RHEINBERGERS epistemische Dinge als solche, die uneingeschränkt „entfaltbar“ sind, sie können damit als „offene Laden“ gelten, die „mit Akten gefüllt sich weit in die

Tiefen eines dunklen Schranks erstrecken“ (Knorr Cetina 1998, S. 97). Demgegenüber fungieren technische Dinge als *Blackboxes* (vgl. Rheinberger 2006, S. 30). Für RHEINBERGER markiert das Blackboxing genau den Übergang eines Teils des Experimentalgerüstes von einem epistemischen zu einem technischen Ding, bei dem vormals unbestimmte epistemische Dinge in die Routine des Experimentsystems¹¹⁷ inkorporiert werden. Diese Routinisierung ehemals epistemischer Dinge stellt allerdings nur eine Seite des Vorgangs dar, denn ebendieser Vorgang des Blackboxing sorgt auf der anderen Seite für die „Eröffnung neuer Möglichkeiten der Untersuchung“ und dient damit als Voraussetzung für die Ermöglichung einer „neue[n] Generation epistemischer Dinge“ (ebd., S. 30).

Wenn epistemische und technische Dinge in einer „Austauschbeziehung zueinander stehen“ bzw. „wechselseitig ineinander übergehen können“, warum unterscheidet RHEINBERGER dann überhaupt zwischen beiden, zumal dadurch dem Autor zufolge auch die problematische Unterscheidung zwischen „reiner“ und „angewandter“ Forschung sowie zwischen Wissenschaft und Technik weiter zementiert wird (Rheinberger 2006, S. 31)? RHEINBERGERS Antwort lautet: „Weil sie uns hilft, das Spiel der Hervorbringung von Neuem zu verstehen, das Auftauchen unvorwegnehmbarer Ereignisse, und damit das Wesen der Forschung“ überhaupt (ebd., S. 31). RHEINBERGER will dabei dem „beweglichen Verhältnis zwischen epistemischen und technischen Momenten“ (ebd., S. 31) in experimentellen Forschungsprozessen gerecht werden. Damit einher geht eine Denkweise, die davon ausgeht, dass Wissenschaftende ihre Untersuchungsgegenstände nicht einfach vorfinden, sondern die „Bedingungen [...], unter denen sie zum Vorschein kommen“ können, erst „schaffen“ müssen (Rheinberger 2006, S. 31 f.).

Als Gegensatz zu einem solchen Wissenschaftsverständnis setzt RHEINBERGER den Begriff der „Technowissenschaft“, der vielmehr die „Beherrschung der Wissenschaft durch die Technik“ suggeriert und in dem das Ineinandergreifen epistemischer und technischer Vorgänge gerade nicht präsent ist (Rheinberger 2006, S. 32). Die Vorstellung einer Technowissenschaft bringt RHEINBERGER in Verbindung mit Friedrich NIETZSCHEs Behauptung des „Sieg[s] der wissenschaftlichen *Methode* über die Wissenschaft“ (zit. nach Heidegger 2018, S. 168), eine Denkfigur, die von HEIDEGGER als Sieg der Methode über das „Thema“ (ebd., S. 167 f.) und von RHEINBERGER als Unterwerfung des epistemischen Dings unter das technische (Rheinberger 2006, S. 32) gedeutet wurde. Der Idee einer sich der Technik beugenden Wissenschaft setzt HEIDEGGER wiederum das philosophische

¹¹⁷ RHEINBERGER erläutert dies u. a. anhand der Geschichte eines bakteriellen In-vitro-Systems zur Proteinsynthese, in dem Ribonukleinsäuren sowie synthetische Polyuridylsäure als Matrize für die Synthese von Polypeptiden eingeführt wurden und dazu verhalfen, den genetischen Code erstmals in ein experimentell handhabbares epistemische Ding zu transformieren. Als der genetische Code etwa 1965 entschlüsselt war, wurden die gleichen Polyuridylsäure-Versuche in eine „Subroutine“ des gleichen In-vitro-Systems umgewandelt, die in weiteren Forschungsprozessen dazu diente, u. a. die Funktion von Ribosomen zu erschließen. Der Vorgang wurde damit zum technischen Ding, insofern er in die technischen Bedingungen des Experimentsystems integriert und dabei „geblackboxt“ wurde (Rheinberger 2006, S. 30).

Denken entgegen, zementiert damit aber ebenfalls die dichotomische Trennung von *epistêmê* und *technê* bzw. die Unterscheidung von Denken und *Reflexion* auf der einen und *technischem Handeln* auf der anderen Seite. Demgegenüber ist RHEINBERGER daran gelegen, „Denken als nach wie vor konstitutiven Teil experimenteller Arbeit zu begreifen, als in ihr verkörperte Bewegung des Aufschließens“, die schon immer auch *technisch* bedingt ist. Diese technische Bedingung werde aber in Experimentalgefügen zugleich „transzendiert“, indem diese darin einen „offenen Horizont für das Auftauchen unvorwegnehmbarer Ereignisse“ schaffen (ebd., S. 33). Wie genau konstituiert sich das Verhältnis von technischen und epistemischen Dingen in RHEINBERGERS Systematik?

RHEINBERGERS Unterscheidung von technischen und epistemischen Dingen ist keine materielle, sondern eine *funktionale* (vgl. Rheinberger 2006, S. 30), das heißt, sie zielt auf die jeweilige Funktion, die Objekte und Strukturen in einem Experimentalsystem jeweils inne haben. Dabei richtet sich die Funktion epistemischer Dinge darauf, „Zukunft“ zu produzieren, insofern wissenschaftliches Handeln sich ja gerade darin als wissenschaftlich erweist, dass es „Überraschungen“ generiert und ins „Unbekannte“ vorstößt. Dafür ist die Herstellung von „Differenz [...] für sie konstitutiv“ (ebd., S. 33). Technische Dinge dagegen sind darauf aus, „Gegenwart zu sichern“, für sie ist daher „Identität in der Ausführung“ konstitutiv (ebd., S. 33). In dieser Systematik sind technische Dinge vor allem „Maschinen, die Antwort geben sollen“, während ein epistemisches Ding „in erster Linie [...] Fragen aufwirft“ (ebd., S. 33; vgl. auch Rheinberger 1992, S. 72).

Da Experimentalsysteme in der Regel durch ihre technischen Werkzeuge definiert und in ihren „Randbedingungen fixiert“ werden, besteht nun für RHEINBERGER die Schwierigkeit darin, wie epistemische Dinge, die Überraschungen und damit Zukunft produzieren sollen, innerhalb eines Experimentalsystems „fluktuiieren und oszillieren können“, wie also verhindert wird, dass sie im Prozess ihres Definiertwerdens von den technischen und instrumentellen Bedingungen, die für ihr Sichtbarwerden erforderlich sind, so verengt werden, dass sie die für die Zukunftspräzision notwendige Offenheit und Differentialität verlieren. Hier spricht RHEINBERGER von einem „Paradox“, denn (naturwissenschaftliche) Experimentalforschung unterliege weitgehend den Bedingungen ihrer technischen Rahmung, die wiederum dazu tendiere, „das Wissenschaftliche an den wissenschaftlichen Objekten zu annihilieren“ (Rheinberger 2006, S. 34).

Um dies zu verhindern, müssen Experimentatorinnen und Experimentatoren dafür sorgen, das Experimentalsystem im „Raum des Vagen“ (Rheinberger 2006, S. 287) zu halten. Sönke AHRENS zufolge heißt das, dafür zu sorgen, dass es weder „ins Maschinenhafte kippt noch ins Rauschen abdriftet“ (Ahrens 2014, S. 134; vgl. auch Rheinberger 1992, S. 72). Dafür müssen Experimentalsysteme so eingerichtet werden, dass „die Erzeugung von Differenzen zur organisierenden Triebkraft“ wird (Rheinberger 2006, S. 281). Und dies wiederum ist möglich, da die Gesamtkonstellation, in der das epistemische Ding als Differenzen und Überraschungen produzierende *Fragemaschine* und das technische Ding als Identität erzeugende und Routinen stabilisierende *Antwortmaschine* miteinander verbunden sind, selbst „in hohem Maße nicht-technisch ist“ (Rheinberger 2006, S. 33 f.; vgl. auch Rheinberger 1992, S. 72). Die spezifische Verwicklung von technischem und episte-

mischem Ding ist selbst *nicht-technisch*, insofern *technisch* als Fixierung erwart- und planbarer Effekte (vgl. Rammert 2016, S. 123) sowie als Eliminierung von Kontingenz (vgl. Hubig 2006, S. 158) verstanden wird. Für RHEINBERGER ist das Ineinandergreifen von epistemischem und technischem Ding auch deshalb als nicht-technisches Verhältnis zu begreifen, da sich Experimentsysteme eher als *Bricolage* denn als routiniert-ingenieurmäßige Planungswerke erweisen: Die experimentell Forschenden sind RHEINBERGER zufolge vorrangig „Bastler“, *Bricoleure*“ und „weniger Ingenieure“ (Rheinberger 2006, S. 34). Der *Bricoleur*, um es nochmal zu wiederholen (vgl. Abschnitt 2.3.1), greift im Unterschied zum von Claude LÉVI-STRAUSS karikierten Bild des Ingenieurs, der Werkzeuge gemäß vorgezeichneter („geskripteter“) Ziele herstellt, auf das zurück, das ihm vorliegt und macht es „passend“, wobei er Unvollkommenheiten in Kauf nimmt (vgl. Antonijevic/Cahoy 2018, Abs. 53; Knaus 2022, S. 55). Er versucht dabei mit dem auszukommen, „was ihm zur Hand ist“ (Lévi-Strauss 2020, S. 30). Nach dem „Prinzip „das kann man immer noch brauchen““ sammelt er Werkzeuge und hebt sie auf, diese sind dabei nur „zur Hälfte zweckbestimmt“, zwar soweit, dass er „nicht die Ausrüstung und das Wissen aller Berufszweige nötig hat; jedoch nicht so sehr, daß (sic!) jedes Element an einen genauen und fest umrissenen Gebrauch gebunden wäre. Jedes Element stellt eine Gesamtheit von konkreten und zugleich möglichen Beziehungen dar; sie sind Werkzeuge, aber verwendbar für beliebige Arbeiten innerhalb eines Typus“ (Lévi-Strauss 2020, S. 30 f.). Wie bereits skizziert, markiert *Bricolage* die „Voraussetzungen einer *jeden* produktiven Tätigkeit“ (Rohbeck 1993, S. 227; H. i. O.), insofern das „vorgefundene Material für [erkenntnisweiternde; Ergänzung OM] Überraschungen sorgt“ (Rohbeck 1993, S. 228; vgl. auch Lévi-Strauss 2020, S. 30).

In ihrem *bricolageartigen* „nicht-technischen Charakter“ können die fixen „Identitätsbedingungen der technischen Systeme“, die das Experimentsystem zusammenhalten, *überschritten* werden. Dabei können technische Werkzeuge im Zuge ihrer „Reproduktion neue Funktionen annehmen“, denn „[g]eraten sie in Zusammenhänge, die über ihre ursprüngliche Zwecksetzung hinausgehen, so können Eigenschaften an ihnen sichtbar werden, die bei ihrem Entwurf nicht beabsichtigt waren“ (Rheinberger 2006, S. 34). Hier verweist RHEINBERGER u. a. auf die Ausführungen von ROHBECK (1993, S. 221–234) und erläutert, dass das experimentelle Denken der Experimentatorinnen und Experimentatoren Ähnlichkeit mit dem hat, was LÉVI-STRAUSS als „Wissenschaft vom Konkreten“ beschreibt (Lévi-Strauss 2020, S. 11–48): Die Wissenschaftsschaffenden „schieben die von ihnen erzeugten Spuren im Raum technisch möglicher Darstellungen zurecht, erzeugen neue, indem sie wieder andere unterdrücken, und verknüpfen sie zu ständig wechselnden Ketten: Sie ordnen sie in bestimmter Weise an, lassen sie aufeinander reagieren, und ausgehend von den erhaltenen Antworten verwickeln sie sie in Re-Aktionen. Dabei stehen die erzeugten epistemischen Dinge nicht für unveränderliche Referenten, sie sind nicht einfach Zeichen für vorgegebene Objekte. Sie bedeuten, was sie bedeuten, soweit sie im Darstellungsraum verkettet werden können“. Ein Experimentsystem „existiert [...] nur so lange, wie der Prozeß (sic!) der Bedeutungszuweisung sich im Sinne einer Verknüpfung materialer Spuren, ihrer Dekontextualisierung und Rekontextualisierung fortsetzt“

(Rheinberger 2006, S. 282). In diesem Sinne „lesen“ die experimentell Forschenden auch „nicht einfach im Buch der Natur“, genauso wenig „konstruieren [sie] aber auch nicht einfach Realität“, sondern schälen epistemische Dinge durch „Konfiguration und Rekonfiguration“ und stets gegen „hartnäckige Widerstände und Widerspenstigkeiten des Materials“ heraus (Rheinberger 2006, S. 283). RHEINBERGERS Systematik der technischen und epistemischen Dinge kann dabei als „Ausbeutung jener Logik gelesen werden, die die Wiederholung mit der Andersheit verknüpft“ (Ahrens 2014, S. 126; vgl. auch Derrida 2020, S. 80), das heißt, wie im Zusammenhang des Reflexionsbegriffs der *Performativität* skizziert, als Versuch, über beständiges Wiederaufführen der Versuchsanordnungen mit minimalen Veränderungen so etwas wie Kontingenz zu produzieren bzw. Neues ans Tageslicht zu bringen. Dabei geht es stets darum, durch „Wiederholung das Augenmerk auf das Unbekannte zu richten“ (Boulboullé 2015, S. 157). Experimentalssysteme zielen also darauf ab, Differenzen zu erzeugen und damit aus der geschlossenen, und nach AHRENS in der Regel auch *erschlossenen*, Struktur des technischen Systems heraus Neues „herauszuschälen“ (vgl. Ahrens 2014, S. 124). Dies wird möglich, da Experimentalssysteme „inhärent offene Anordnungen“ sind, schreibt RHEINBERGER in seiner Schrift *Iterationen* (Rheinberger 2005, S. 57), die es trotz ihrer routinenstabilisierenden Wirkung erlauben, epistemische Prozesse im „Raum des Vagen“ (Rheinberger 2006, S. 287) zu halten.

Wie schaffen Forschende es aber, darin eine Balance zu finden zwischen der Unterwerfung eines Erkenntnisprozesses unter seine technischen Bedingungen auf der einen Seite und dem Abdriften in ein unbestimmtes Rauschen auf der anderen Seite? Und: Fasst man auch digitaltechnische Strukturen als Experimentalräume, wie ich es in Abschnitt 5.2 anhand unterschiedlicher Fallbeispiele und Wissenschaftsdomänen diskutiert habe, wie gelingt es dann, dass innerhalb ihrer Grenzen als strukturierende Struktur Freiräume zur Genese von Überraschungen und Kontingenzen, und damit zur Genese neuen Wissens, entstehen? Argumentiert wurde, dass es die *interpretative Flexibilität* der digitalen Technik selbst ist, die eine solche *inhärente Offenheit* zur Produktion von Differenzen und damit von Neuem ermöglicht. Digitaltechnische Strukturen, so lässt sich weiterführen, leisten einer bricolageartigen Form der Wissensgenese Vorschub. Diese bricolageartigen Zugriffe ergeben sich dabei aus der „produktive[n] Verwicklung“ (Allert/Asmussen 2017, S. 27 f.) der Wissenschaffenden mit dem generischen und flexiblen digitalen Sprach-, Repräsentations- und Operationsraum, in dem innerhalb der Grenzen ihrer hard- und softwaretechnischen Strukturiertheit sowie innerhalb der Grenzen der Berechenbarkeit zahlreiche Rekontextualisierungs- und Reinszenierungsmöglichkeiten von Daten – aber auch von Verfahren und methodischen Zugriffen selbst – bestehen. So ist digitale Technik zwar Struktur und dadurch prägend, sie ist zugleich aber auch flexibel und adaptierbar und eignet sich damit für produktive Formen der Erkenntnisarbeit. *Produktivität* bedeutet, dass Erkenntnisprozesse nicht technisch „vorherbestimmt“ werden, sondern technische Systeme aus der wechselseitigen *Interaktion* der Wissenschaffenden mit den technischen Strukturen (vgl. ebd., S. 34) heraus offen für Überraschungen und somit im „Raum des Vagen“ (Rheinberger 2006, S. 287) gehalten werden können. Digitaltech-

nische Systeme als Experimentalräume etablieren das Verhältnis zwischen technischem Ding und der Erkenntnisarbeit der Wissenschaffenden durch bricolageartiges Erproben, Austarieren und ‚Sich-Aufeinandereinstellen‘ zwischen Mensch und Technik (vgl. Abschnitt 5.2.3 und 5.2.6). In diesen können epistemische Dinge durch „Konfiguration und Rekonfiguration“ auch gegen hardwaretechnische, informationstechnische, aber auch mit mathematischer Opazität verbundene Widerstände (vgl. Rheinberger 2006, S. 283) herausgeschält werden (vgl. zum ‚trickreichen‘ Vorgehen in der Computersimulation Abschnitt 5.2.6).

Davon ausgehend werden im Folgenden wesentliche Erkenntnisse aus der Analyse erkenntnisprägender Eigenschaften digitaler Technik zu einer *Epistemologie digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit* verdichtet und dabei auch auf Anknüpfungsmöglichkeiten für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen befragt. Die mit der Technik verbundenen Ambivalenzen zwischen Geschlossenheit und Offenheit, Vorstrukturierung und Handlungsspielraum markieren dabei die Eckpfeiler dieser Epistemologie, die sowohl für die Genese wissenschaftlichen Wissens als auch für die Suche nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen von Bedeutung sind. Als erstes bedeutsames Merkmal digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit steht *Immanenz* im Fokus, welche die immanente Beobachterposition markiert, von der aus reflexive Zugriffe auf den digitaltechnischen Erkenntnisraum möglich werden. Weitere Strukturmerkmale digitaler Technik werden anschließend zwischen dem Merkmal der *inhärenten Offenheit* und interpretativen Flexibilität auf der einen Seite sowie dessen *Intransparenz* auf der anderen Seite konturiert. Diese markieren den wesentlichen Orientierungsraum und das zentrale Orientierungsproblem innerhalb digitaltechnischer Strukturen. Aufgrund ihrer inhärenten Offenheit und interpretativen Flexibilität erweisen sich digitaltechnische Strukturen zugleich auch als Experimentalräume, die den epistemischen Praktiken der *Iterabilität* und *Tentativität* Vorschub leisten, die im Folgenden als zentrale epistemische Praktiken und zugleich als Reflexionspraktiken innerhalb digitaltechnischer Strukturen skizziert werden sollen. Schließlich ist es das *interessengeleitete Forschen*, das in der produktiven „Verwicklung“ (Allert/Asmussen 2017, S. 27 f.) der Wissenschaffenden mit den digitaltechnischen Systemen zum Ausdruck kommt, bei der Technik selten nur Mittel zum Zweck, sondern vielfach auch selbst Erkenntnisobjekt wird. Eine solche interessengeleitete Forschungshaltung, die auch die Technik selbst als Erkenntnis- und Interessensobjekt mit einschließt, wird dabei als Movens für die Entwicklung eines Orientierungssinns innerhalb digitaltechnischer Strukturen vorgestellt.

5.3.2 Digitaltechnische Erkenntnisräume zwischen Fixierung und Experimentalraum

Immanenz als Orientierungsposition

Will man die zuvor entfalteten Erkenntnisse zusammenfassen, so ist bezüglich der Kontrierung digitaler Technik als Allgemeines und Struktur zuvorderst zu konstatieren, dass sie – auch in den Wissenschaften – bereits zur „Weltbildung“ und damit zum *Strukturmerkmal* großer Teile wissenschaftlicher Wissensproduktion geworden ist. Die Einschreibungen der Technik in Prozesse der nicht nur wissenschaftlichen Wissensproduktion sind dabei so umfassend, dass reflexive Zugriffe auf diese Technik zunehmend kein ‚Außen‘ mehr kennen. In Abschnitt 2.1 wurde eine solche Auffassung von Technik bereits im Kontext von Peter EULERS bildungstheoretischer Perspektivierung von Technik als „Weltbildung“ (Euler 1999, S. 14) skizziert und in Abschnitt 4 auch im Kontext des ‚bildenden Charakters‘ von Technik und Methode diskutiert.

Für die hier vorgenommene Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse im Hinblick auf deren Bedeutung für *Orientierungsmöglichkeiten in der digitalen Welt* ist dabei also vor allem auf die zunehmende technische *Immanenz* potentieller Orientierungspositionen zu verweisen, insofern sich der Beobachterinnen- und Beobachterstatus von Wissenschaffenden und Erkenntnissubjekten immer weiter nach innen – also *in* die technisch bereits geformten und mit Technik zutiefst verwickelten Gesellschafts-, Kultur- und Erkenntnisräume – verlegt. Müssen Wissenschaffende sich schließlich *über* die technischen Bedingungen ihrer Wissensproduktionen Klarheit verschaffen, so können sie dies immer weniger von der Position einer außenstehenden Beobachterin bzw. eines außenstehenden Beobachters tun. RHEINBERGER argumentiert mit der amerikanischen Philosophin Marjorie GRENE, dass die Unmöglichkeit, unsere Überzeugungen *direkt* an der Realität prüfen zu können, nicht deswegen besteht, weil Realität unerreichbar ist, sondern „weil wir ein Teil von ihr sind“ (Rheinberger 2006, S. 284 f.). Ähnliches gilt für die technisch-technologische Realität heutiger Gesellschaften. Orientierung findet aufgrund des gesellschaftlichen „*Durchdringungscharakter[s]*“ (Euler 1999, S. 170; H. i. O.) digitaler Technik nur *innerhalb* eines digitaltechnisch bereits geformten Allgemeinen statt. In dieser Hinsicht erweist sich der Orientierungsbegriff auch zielführender als eine Vielzahl gängiger *Kompetenzkonzepte*, die auf kodifizierbares, in Kompetenzkatalogen systematisiertes Wissen und Können als Orientierungsstrategie setzen (vgl. Abschnitt 6.1.2). Kompetenz erfordert den Blick einer außenstehenden Beobachterin bzw. eines außenstehenden Beobachters, die oder der es vermag, den Zustand der Welt und das Wissen und Können, das für ihre Bewältigung benötigt wird, zu beschreiben, um dafür wiederum Beschreibungen für Kompetenzniveaus und Anforderungsprofile formulieren zu können. Der Kompetenzbegriff stößt aber dort auf seine Grenzen, wo es nicht länger um die Bestimmung wünschenswerter Kompetenzniveaus geht, sondern technische Medien und Technik als *allgemeine Bedingung* für die Entwicklung von Selbst- und Weltverhältnissen, von Wissen und Orientierung betrachtet werden müssen (vgl. u. a. Hörl 2011; Hug 2007).

Orientieren können Menschen sich dagegen nur *in* einer Umgebung, in der sie sich auch befinden, mit der sie aktiv umgehen und in der sie aktive Wege (*methodos*) finden, sich

selbst und ihre Umwelt zu verorten und zu verstehen. Zugleich bedeutet Immanenz in Zeiten des *ubiquitous computing* und des *Internets der Dinge*, dass digitaltechnische Objekte unsere Lebenswelt auch in Form computerisierter Alltagsgegenstände „bevölkern“ (Robben/Schelhowe 2012b, S. 8). Diese sind für Menschen zunehmend selbstverständlich und werden damit reflexionslos genutzt, konkretisieren aber zugleich auch Zugangsmöglichkeiten zu dieser Technik (vgl. Abschnitt 3.4 und weiterführend Abschnitt 6.3.3).

Aufgrund ihrer inhärenten Offenheit und interpretativen Flexibilität stellt digitale Technik zudem auch *Werkzeuge* und *Strukturen* zur Verfügung, die ein solches immanentes Orientieren erleichtern können. Das entscheidende der digitaltechnischen Struktur, des digitaltechnischen Allgemeinen, besteht ja nicht allein in ihrer Tendenz zur Normierung und Standardisierung sowie der Inkorporierung impliziter Ordnungen und Werte, sondern insbesondere auch darin, dass just diese allgemeinen Ordnungen höchst flexibel und *nach innen geöffnet* erscheinen, das heißt, in ihrer Struktur selbst erkenntnisweiternde Handlungsräume wiederum *immanent* angelegt sind, die auch Ausgangspunkte für Orientierung bilden können. Immanenz markiert also nicht allein die Beobachterposition des Menschen gegenüber der Technik, sondern verweist auch auf *in der Technik selbst* angelegte Orientierungsmöglichkeiten.

Inhärente Offenheit als Orientierungsrahmen

Dan VERSTÄNDIG bezeichnet die „Grammatik des Digitalen“ als „hochgradig ambivalent“, da darin „einerseits [...] alles auf den Zeichen 0 und 1 [beruht], andererseits kann aus diesen Zeichen, den damit verbundenen abstrahierten Prozessen und Symboliken eine Vielzahl von Entitäten, medialen Erscheinungen und strukturgebenden Formaten hervorgehen“ (Verständig 2020b, S. 8). Diese Spannungsfeld habe ich in einer dreidimensionalen Systematik als *Ambivalenz digitaler Technik* konturiert. In den Blick genommen habe ich dabei die objektivierenden (digitale Technik als Objektstruktur), performativen (digitale Technik im Vollzug) und vermittelnden (digitale Technik als Interface) Dimensionen der Technik. Digitale Technik rangierte dabei zwischen Struktur und Programmierbarkeit, Bestimmtheit und Unbestimmtheit, Greifbarkeit und Ausschluss (vgl. Abschnitt 3).

Dieses ambivalente und spannungsreiche Verhältnis greife ich im Kontext der Analyse digitaltechnikbasierter wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit im von RHEINBERGER verwendeten Begriff der inhärenten Offenheit an dieser Stelle nochmals auf. Für den Autor stellen Experimentalsysteme „inhärent offene Anordnungen“ dar (Rheinberger 2005, S. 57), die trotz der identitäts- und routinenstabilisierenden Wirkung der darin involvierten technischen Dinge (Technik als *Antwortmaschine*) dazu in der Lage sind, epistemische Prozesse im „Raum des Vagen“ (Rheinberger 2006, S. 287) zu halten und dabei für den Erkenntnisfortschritt relevante Überraschungen (Technik als *Frägemaschine*) zu erzeugen (vgl. ebd., S. 33 f.; vgl. auch Gramelsberger 2010, S. 273 f.; Merz 2002, S. 280; Rheinberger 1992, S. 72). Eine ähnliche Deutung nehme ich auch für die digitaltechnischen Experimentalräume in Anspruch und begründe dies im Rahmen der nächsten Abschnitte. Als *inhärent offene Anordnung* kann digitale Technik insofern bezeichnet werden, da digitaltechnische Strukturen sich in vielen Aspekten zunächst als geschlossene

erweisen. Inhärente Offenheit ist also keine genuine Offenheit, sondern eine, die sich innerhalb einer normierten Anordnung, einer spezifischen *Architektur* realisiert, gleich einem Spielbrett oder Spielfeld, wie HUIZINGA in seiner Auseinandersetzung mit dem Spiel konstatiert hat. Spiel ist für HUIZINGA „freies Handeln“ (Huizinga 2022, S. 16), das jedoch nicht bedingungslos und unbegrenzt, sondern „innerhalb bestimmter Grenzen von Zeit und Raum“ (ebd., S. 18) stattfindet (vgl. Abschnitt 5.2.1). Auch das ‚Spielfeld‘ digitaltechnischer Strukturen erweist sich nicht vollständig, sondern lediglich innerhalb seiner Grundstrukturen als offen.

Die grundlegende technische Strukturierung des digitaltechnischen Erkenntnisraums beginnt dabei zum einen mit der Überführung von Erkenntnisgegenständen in diskrete Informationsstrukturen, dieser Eingriff kann als genuiner Prozess der *Digitalisierung* betrachtet werden, wie ich in Rekurs auf die Reflexionen von RHEINBERGER (2007) diskutiert habe (vgl. Abschnitt 5.1.1). Die Überführung realweltlicher physikalischer bzw. biologischer Spuren in eine speicherbare Informationsstruktur eröffnet dabei neue Möglichkeiten des Experimentierens mit diesen, insofern sich diese in unterschiedlicher Form immer wieder neu in Beziehung setzen lassen. Dies ist auch deswegen möglich, da sich solche Informationsstrukturen unerheblich davon, welches Phänomen sie repräsentieren, im ‚Computerlabor‘ wie ‚Texte‘ lesen und damit auch ‚umschreiben‘ lassen (Weber 2003, S. 141). Jegliches Material wird durch seine Umwandlung in Informationsstrukturen nahezu unerschöpflich rekontextualisierbar, so dass schließlich jede „beliebige Komponente [...] mit jeder anderen verschaltet werden“ kann (Haraway 1995, S. 50). Eine solche ‚Übersetzung‘ realweltlicher Dinge in Informationsstrukturen kann dabei auch für eine „Vermischung der ontologischen Bereiche“ sorgen (Weber 2003, S. 140 f.). Im Kontext der wissenschaftlichen Erkenntnisarbeit gehört dazu auch, dass digitale Informationsstrukturen zu transversalen Erkenntnisräumen werden, die innerhalb ihrer Grenzen auch zu einer gewissen Durchlässigkeit zwischen Weltzugängen und Erkenntnislogiken führen.

Möglich werden solche transversalen Erkenntnisräume dabei aber nicht nur durch die Überführung von Welt in Informationsstrukturen, sondern auch durch eine zunehmende Konkretisierung und Vernetzung der Hard- und Softwarearchitekturen. Vernetzende Infrastrukturen wie im Zusammenhang von Grid-Computing, softwarebasierte Schnittstellen-techniken wie Application Programming Interfaces (APIs), aber auch die Entwicklung übergreifender Ontologien trugen dazu bei, dass die für die Prozessierung der generischen Informationsstrukturen notwendigen Rechenleistungen, Speichermöglichkeiten, Anwendungen und Ordnungsstrukturen weitläufig vernetzbar wurden. Bereits die Entwicklung des WWW stellte einen solchen Konkretisierungsprozess dar, der auch für die globale Vernetzung in wissenschaftlichen Kontexten von entscheidender Bedeutung war (vgl. Abschnitt 5.1.4). Zu einer Konkretisierung trugen diese Entwicklungen in Rekurs auf SIMONDON (2012) und HUI (2016) auch insofern bei, als dass die generischen Infrastrukturen dabei einer weiterführenden Strukturierung und zugleich Standardisierung unterzogen wurden, die die Vernetzbarkeit digitaltechnischer Objekte erhöhte. Kontraintuitiv zur Annahme, dass Standards einschränkend wirken, betont SIMONDON (2011) vielmehr deren

Bedeutung für die Vernetzung technischer Objekte und damit für Eingriffsmöglichkeiten in diese Objekte durch eine breite Nutzengruppe (vgl. Abschnitt 3.1). Die mit diesen Konkretisierungsbewegungen einhergehende digitaltechnische Vernetzung leistete dabei einer *sozialen* (vgl. Knaus 2017b, S. 34 f.) und daran anknüpfend auch einer *epistemischen Vernetzung* Vorschub. Zu diesem Vernetzungsprozess gehören nicht nur die Etablierung von Standards und entsprechenden Infrastrukturen, sondern auch die Herausbildung konvergierender epistemischer Praktiken sowie durchlässiger disziplinärer und epistemischer Grenzen (vgl. Abschnitt 5.1.4). Insgesamt wird ersichtlich, dass die generischen Informationsstrukturen einen übergreifenden, universell nutzbaren Sprach-, Repräsentations- sowie auch Operations- und Handlungsräum bilden, der von einer erheblichen *interpretativen Flexibilität* (vgl. Joerges/Shinn 2001a, S. 9) geprägt ist und daher im Kontext unterschiedlicher Wissenskulturen (vgl. Knorr Cetina 2002) adaptierbar ist. Digitaltechnische Erkenntnisräume sind dabei insofern als transversal zu betrachten, als dass sie eine übergreifende *lingua franca* etablieren und damit zu einer Generalisierung der Art und Weise von Welterschließung beitragen können.

Zusammenfassend lassen sich die digitaltechnisch erzeugten Erkenntnisräume insofern als *offen* deuten, als dass sie sich in ihrer generischen Informationsstruktur in eine Vielzahl möglicher Kontexte und Wissenskulturen einbeziehen und adaptieren lassen. Als strukturierend, und damit teils auch geschlossen, kann diese Struktur zugleich gelten, weil sie menschliche Handlungsmöglichkeiten in und mit ihr nicht unbegrenzt lässt und Erkenntnismöglichkeiten innerhalb dieser Strukturen auf eine bestimmte Art und Weise prägt. Nach ROHBECK lässt sich der digitaltechnische Erkenntnisraum damit als „[b]egrenzte Vielfalt“ (Rohbeck 1993, S. 248) beschreiben.

Als *offen* sind die oben beschriebenen digitaltechnischen Strukturen aber auch deshalb zu bezeichnen, weil *innerhalb* dieser strukturierenden Ordnungen und Architekturen heute, zumindest prinzipiell, sehr viel *möglich* ist. Denn digitale Technik strukturiert Handlungsmöglichkeiten nicht ausschließlich vor, sondern flexibilisiert diese auch. Um es zu wiederholen: John von NEUMANN, der Erfinder des bis heute genutzten Prototyps einer Rechnerarchitektur, bezeichnete den Computer als “general-purpose computing machine” (Burks/Goldstine/Neumann 1982, S. 399), die zahlreichen und vielfältigen Zwecksetzungen offensteht. Noch nie hat es mit dem Computer in der Geschichte der Technik ein technisches Objekt gegeben, dessen konkrete „Nutzung so wenig in die Technikgenese eingeschrieben ist“ (Kerres 2020, S. 20).

Bricolageartig ‚sammeln‘ sich dabei im Computer als *general-purpose computing machine* zahlreiche ‚Werkzeuge‘ in Form von Software oder Apps, die „für beliebige Arbeiten innerhalb eines Typus“ (Lévi-Strauss 2020, S. 30 f.) auf demselben Gerät möglich sind. Dabei bilden Computer wie auch digitaltechnische Infrastrukturen *Konvergenzräume*, in denen die zahlreichen Instrumente, Anwendungen und Funktionsweisen, für die üblicherweise eigene Geräte bzw. technische Objekte erforderlich waren, zusammenfinden (vgl. auch Knaus/Engel 2015, S. 24), indem sie softwaretechnisch simuliert werden. Mit der softwaretechnischen Simulation der Instrumente und Anwendungen können

diese aber auch neu- bzw. andersartig verknüpft bzw. „remixed“ werden (vgl. Manovich 2013, S. 268). Diskutiert habe ich eine solche softwaretechnisch ermöglichte Form der *remixability* (vgl. ebd., S. 46) u. a. im Kontext von QDA-Software, in der nicht nur Repräsentationsformate, sondern auch methodische Zugänge und Vorgehensweisen in unterschiedlicher Weise miteinander kombiniert werden können. Darauf gehe ich in dieser zusammenfassenden Diskussion im Kontext der epistemischen Praktiken der *Iterabilität* und *Tentativität* nochmals ein (s. u.).

Die Entwicklung von Forschungsinstrumenten zu generischen Mehrzweck-Instrumenten beruht dabei GRAMELSBERGER zufolge vor allem auf der „Zwischenschaltung von mathematischen Praktiken und Medien“ in Form von Schaltkreisen, Digitizern und eingebetteten Computern. Passend zur numerischen Ausprägung digitaltechnischer Informationsstrukturen wird angewandte Mathematik zugleich zur zentralen „*enabling technology*“ digitaler generischer Forschungstechniken. Was sie dabei als „mathematische [...] Medien“ (ebd., S. 170) bezeichnet, führt hier zum entscheidenden Entwicklungssprung für die von der Autorin dargestellte Transformation von Erkenntnispraktiken der direkten, unmittelbaren Beobachtung zu *mittelbaren* und *indirekten* Formen der Genese und Analyse von Daten. Insgesamt lässt sich sagen, dass Generizität und Offenheit von Forschungstechnik durch ihre „Digitalisierung“ erweitert wurde. Durch die Integration mathematischer Medien sowie von Software werden Geräte bzw. Anwendungen *mehrfunctional* – das jedoch vor allem um den Preis der Notwendigkeit ihrer „Kalibrierung“ (Gramelsberger 2012, S. 180). Parametrisierung und Konfigurierung der technischen Systeme, und damit ihre Anpassung an die jeweils situativ erforderlichen Anwendungsszenarien, sind nun nicht mehr nur *möglich*, sondern auch *erforderlich*. Bei generischen Instrumenten wird ihre Adaption – und in diesem Sinne die im jeweiligen Forschungskontext lokale, situative Anpassung und Aneignung – zur Voraussetzung für die Wissensproduktion mit ihnen. Somit kann behauptet werden, dass generische digitale Forschungstechnik das Spektrum möglicher Einsatzszenarien, die mit einem einzelnen Gerät möglich sind, zwar stark ausweitet, zugleich aber zur individuellen, lokalen bzw. situativen Konfiguration bzw. Aneignung verpflichtet. Mit Blick auf die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen lässt sich daher vorwegnehmen, dass Generizität und Multifunktionalität Aneignungs- und Interpretationsprozesse, und damit Reflexion, erforderlich machen. Inhärente Offenheit, interpretative Flexibilität sowie dadurch bereitgestellte „Potenzen [...] für freibleibende Zwecke“ (Freyer 1970, S. 139; vgl. auch Freyer 1963, S. 167) verpflichten zum Nachdenken: Was kann ich damit alles tun? Was sollte ich damit tun (vgl. Abschnitt 2.3.1)? Aber auch: Welche Konfigurationen sind vorzunehmen, um das Gerät bzw. die Software für eigene Zwecke einzusetzen zu können? Was muss ich dazu über die Techniken und ihre Funktionsweisen wissen?

Inhärente Offenheit und freibleibende Zwecke markieren damit einen *Bildungsanspruch* an die digitale Technik, zu dessen Erfüllung ein Nachdenken über sie im alltäglichen Umgang mit ihr aber mitunter nicht ausreicht, sondern für den dedizierte Bildungsräume notwendig werden (vgl. Abschnitt 7). Diese sind auch deshalb nötig, da digitaltechnische Systeme als Expertensysteme (vgl. Abschnitt 2.2.2) eine Reflexion über sie

häufig nicht zwingend nahelegen bzw. „anbieten“. Die technischen Reflexionsgegenstände müssen, ähnlich wie RHEINBERGER dies für epistemische Dinge skizziert hat, in Form produktiver Verwicklung mit der Technik erst aus diesen „herausgeschält“ werden, wie ich in einem der Folgeabschnitte nochmals aufgreife. Ein Grund dafür liegt in den fast schon systemischen Intransparenzen, die mit digitaler Technik einhergehen und die eines der wesentlichen mit ihr verbundenen *Orientierungsprobleme* markieren.

Intransparenz als Orientierungsproblem

Für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen erweisen sich die in der Technik enthaltenen Intransparenzen und ihre Opazität als problematisch. Der Wissenschaftshistoriker Klaus HENTSCHEL (vgl. Abschnitt 5.1.3) hat in seiner Auseinandersetzung mit SHINNS und JOERGES’ Konzeptionierung generischer Forschungstechnik gezeigt, dass vor allem in der Phase der *Diffusion* von Forschungsinstrumenten das Blackboxing *bestimmter* Vorgänge zur Bedingung für eine Vergrößerung ihres Nutzendenkreises wurde. Durch die *Invisibilisierung* komplexerer unterliegender technischer Vorgänge, die HENTSCHEL als Blackboxing von „skills“ bzw. als „de-skilling“ beschrieben hat (Hentschel 2012, S. 135), konnten diese auch von Nicht-Spezialistinnen und -Spezialisten eingesetzt werden (vgl. Hentschel 2012, S. 133). Damit reiht sich (digitale) Forschungstechnik auch in die allgemeinen mit der Genese technischer Expertensysteme verbundenen Mechanismen. Auch hier bildet Invisibilisierung des Regelwissens, das zur Auslösung der in der Technik objektivierten Ereigniszusammenhänge führt, den Preis für die Transfermöglichkeit entbetteter Ereigniszusammenhänge (vgl. Schulz-Schaeffer 2000, S. 225). Mit dem Ziel der Handlungsentlastung geht es dabei darum, Techniken verfügbar zu machen, mit denen Menschen „beabsichtigte Effekte erzeugen“ können, „ohne wissen zu müssen, warum dies so ist“ (ebd., S. 46). BLUMENBERG hat diese Trennung von Sachverstand und Sachbeherrschung auch als „Antinomie [...] zwischen *Leistung* und *Einsicht*“ beschrieben (Blumenberg 2020, S. 55; H. i. O.). Jenseits dieser Invisibilisierung technischer Prozesse durch Blackboxing, ist digitaltechnikbasierte Erkenntnisarbeit aber auch mit einer intrinsischen, methodischen Opazität verbunden, insofern Intransparenzen bereits in einigen Grundstrukturen wissenschaftlichen Handelns mit ihr angelegt sind (vgl. Abschnitt 5.1.3). Im Kontext der Computersimulation hat hier vor allem der Terminus der *epistemischen Opazität* (vgl. Humphreys 2004, S. 147–151) Eingang in die Debatte um die Frage nach Einsichtsfähigkeit und Nachvollziehbarkeit computervermittelter Prozesse der Wissensgenese gefunden.

Vor dem Hintergrund der mit der digitalen Technik verbundenen Intransparenzen steht aber auch ein Kerngedanke wissenschaftlichen Wissens infrage, da dieses ja gerade auf der Nachvollziehbarkeit und Begründbarkeit seiner methodischen Genese, und damit des ‚Wegs‘ seiner Entstehung beruht, und so etwa auch von anderen Wissensformen wie dem Alltagswissen oder der bloßen Meinung unterscheidbar wird (vgl. Kaminski 2018, S. 323). Entfallen Einsichtsmöglichkeiten in die Strukturen digitaltechnischer Vermittlung, so müssen „funktional äquivalente Formen an ihre Stelle treten“ (ebd., S. 331) – darunter *Vertrauen*. Gerade im Kontext der Analyse großer Datenmengen positionieren

sich Wissenschaffende diesen gegenüber „in ein Vertrauens- oder Glaubensverhältnis“, da eine Kontrollierbarkeit der Resultate und Strukturvorschläge des Systems in Teilen ausgeschlossen bleibt (Gransche et al. 2014, S. 138). Wird das Alleinstellungsmerkmal von *Wissenschaft* allerdings darin gesehen, dass diese ihre Erkenntniswege offenlegen kann, so ist im Hinblick auf die digitaltechnikbasierte Wissenschaft von einer „Prekarisierung“ zu sprechen, da aufgrund des „Informationsvorsprungs“ der technischen Systeme das *Vertrauen* in die technisch durchgeführten Anteile der Analyseprozesse „alternativlos“ wird (ebd., S. 37).

Anthony GIDDENS zufolge ist Vertrauen „in fundamentaler Weise mit den Institutionen der Moderne verbunden“ (Giddens 1995, S. 39). Das Vertrauensverhältnis von Wissenschaffenden gegenüber digitaltechnischen Systemen kann als Spielart des von GIDDENS für Expertensysteme postulierten Vertrauensverhältnisses von Laien gegenüber Expertensystemen bezeichnet werden. In der Klimamodellierung beispielsweise, zeichnet sich die Modellierarbeit auch durch das Koppeln modularer Programmkomponenten aus (vgl. Abschnitt 5.1.3), die sich nach dem Plug-and-play-Prinzip zusammenfügen lassen. Dabei wird für das eigene Experimentalgefüge auf fertige, ‚geblackboxte‘ Programmkomponenten zurückgegriffen (vgl. Gramelsberger 2010, S. 153 und 192). Für die Rechtfertigung des dadurch generierten Wissens entstehen dadurch Abhängigkeiten, insofern dieses Wissen nicht mehr subjektiv, sondern stets in Abhängigkeit vom Wissen, den Vorarbeiten bzw. Leistungen anderer rechtfertigbar wird (vgl. Gehring/Hubig/Kaminski 2017, S. 13). Deutlich wird in diesem Beispiel aber auch, dass Forschende dabei nicht nur von technischen Expertensystemen, sondern insbesondere auch vom Wissen anderer Menschen abhängen, was auf die allgemeine „soziale[...] Verfasstheit“ (Gehring/Hubig/Kaminski 2017, S. 13) zeitgenössischer wissenschaftlicher Prozesse deutet. Intransparenzen im Rahmen wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit entstehen einerseits durch Arbeitsteilung, bei der Wissen *im Vertrauen* auf die Arbeit anderer Wissenschaffender in die eigene Wissensproduktion inkorporiert wird. Andererseits entstehen Intransparenzen auch im Rahmen gemeinsamer „Wissenskulturen“ (Knorr Cetina 2002), in denen geteiltes Wissen häufig implizit verbleibt. Generische, flexible digitaltechnische Strukturen befördern Formen sozialer und kognitiver Kohäsion (vgl. Abschnitte 5.1.2 und 5.1.4), tragen im Kontext der dabei entstehenden Wissenskulturen aber auch zu Intransparenzen bei, die auf dem *nicht artikulierten* oder nicht artikulierbaren Wissen der epistemischen Gemeinschaften beruht.

Insgesamt zeichnet sich das Forschen innerhalb digitaltechnischer Strukturen durch ein produktives Verwobensein und Formen verteilter Handlungsträgerschaft (vgl. Rammert/Schulz-Schaeffer 2002b) zwischen *Mensch* und *Mensch* sowie *Mensch* und *Technik* aus, bei dem sowohl das Vertrauen auf das Wissen anderer sowie auch stets verbleibendes technisches *Nicht-Wissen* (vgl. Friedrich et al. 2017) konstitutive Bestandteile der Wissensproduktion sind. Auch in der wissenschaftlichen Erkenntnisarbeit gilt es, mit solchen „Grenzen der Nachvollziehbarkeit leben zu lernen“ (Gehring/Hubig/Kaminski 2017, S. 13). Zugleich existieren aber auch Strategien des Umgangs mit Intransparenzen und jenen Grenzen der Nachvollziehbarkeit. Diesen kann aber häufig nicht analytisch, also

durch einen rekonstruktiven Nachvollzug (*reverse engineering*), begegnet werden. Aufgrund der rekursiven und kontingennten Konstitution algorithmischer Vollzüge (vgl. Abschnitt 3.2) ist es häufig nicht möglich, diese „Schleife um Schleife“ nachzuvollziehen (Beer 2022, S. 3; Übers. OM). Vielfach ist den opaken digitaltechnischen Prozessen nur noch *synthetisch* im Sinne tentativer Erprobungsverfahren und auf Grundlage von Erfahrung im – zum Beispiel programmiertechnischen – Umgang mit diesen beizukommen. Im Kontext der Computersimulation muss nach KAMINSKI, RESCH und KÜSTER beispielsweise auf „externalistische“ Strategien der Begründung und Rechtfertigung zurückgegriffen werden, die auf „*Erfahrungswerte[n]*“ basieren (Kaminski/Resch/Küster 2018, S. 271; H. i. O.), nicht aber auf einer genuinen „*Einsicht*“ in alle mit einer Simulation verbundenen Wechselwirkungen (ebd., S. 266; H. i. O.).

Die Annahme grundlegender Intransparenzen und Opazität digitaltechnischer Strukturen wirft dabei auch Fragen für den in Bildungskontexten zentralen Kompetenzdiskurs auf (vgl. Abschnitt 6.1.2), denn bei der Frage nach dem Wissen und Können, das Menschen benötigen, um in einer vom digitalen Wandel geprägten Welt *sachgerecht, selbstbestimmt, kreativ* und *sozial verantwortlich* handeln zu können (vgl. Tulodziecki 2011, S. 23), muss es zunehmend auch darum gehen, Orientierungsstrategien im Umgang mit dem Unbestimmten, analytisch Nicht-Rekonstruierbaren bzw. schlicht Unwissbaren zu entwickeln. Orientiert man sich hier an den in der Analyse aufgezeigten Strategien der Wissenschaffenden, so stehen hier vor allem erfahrungsbasierter Zugänge und das tentative Erproben und ‚Sich-Aufeinandereinstellen‘ (vgl. Abschnitt 5.2.3) zwischen Mensch und technischem System im Vordergrund.

Iterabilität und Tentativität als Orientierungsstrategien

Digitaltechnische Strukturen manifestieren sich nicht nur in ihren Intransparenzen, sondern, wie argumentiert, auch als „inhärent offene Anordnungen“ (Rheinberger 2005, S. 57). Genau diese markieren digitaltechnische Strukturen nicht nur als Medium der Objektivierung eindeutiger Wirkungszusammenhänge, sondern auch als einen von Unbestimmtheiten geprägten Experimentalraum, der epistemische Prozesse im „Raum des Vagen“ (Rheinberger 2006, S. 287) und damit offen für Überraschungen zu halten vermag. Bereits durch die von Unbestimmtheiten geprägte algorithmische Performativität (vgl. Abschnitt 3.3) können solche Räume des Vagen generiert werden, da algorithmische Vollzüge, vor allem vor dem Hintergrund des maschinellen Lernens und darin involvierter probabilistischer Verfahren, inzwischen zahlreiche Kontingenzen produzierende Mechanismen enthalten, die für überraschende Perspektiven sorgen und unerwartete Strukturvorschläge produzieren, die menschlichen Wissenschaffenden wiederum als Abduktionsanlässe dienen können (vgl. Abschnitt 5.2.3). Erhalten wird der „Raum des Vagen“ aber auch durch die produktive Verwicklung von Mensch und technischem System, die nach RHEINBERGER eine in ihrer Gesamtheit „nicht-technische“ ist. Für RHEINBERGER sind Experimentalsysteme nicht Ausdruck planmäßiger Ingenieurskunst, sondern das Werk von ‚Bastlern‘ und Bricoleuren, die durch beständiges tentatives Konfigurieren und Rekonfigurieren des Systems in der Lage sind, durch die technischen Strukturen etablierte

fixe „Identitätsbindungen“ zu überschreiten und dadurch Neues zu generieren (Rheinberger 2006, S. 34).

Tentativität, so interpretiere ich es in Rückgriff auf Jacques DERRIDA und Sybille KRÄMER, hängt hier auch mit der Iterabilität als Triebfeder von Alterität zusammen: Wie bereits erwähnt, liegt die „Pointe“ (Krämer 2001, S. 253) von DERRIDAS Iterabilitätsbegriff darin, dass Wiederholungen auch mit „Andersheit verknüpft“ sind und Bedeutungsverschiebungen generieren können (Derrida 2020, S. 80; vgl. auch Krämer 2004b, S. 16). Dies äußert sich im digitaltechnischen Experimentalraum bzw. im ‚Computerlabor‘ auf zweifache Weise: Hierbei ‚schälen‘ Wissenschaffende in digitaltechnischen Umgebungen epistemische Dinge zum einen in aktiver Verwicklung mit der Technik durch beständiges Einrichten, Justieren, Konfigurieren und Rekonfigurieren auch gegen hardware-technische, informationstechnische, und mit mathematischer Opazität verbundene „Widerstände und Widerspenstigkeiten“ (Rheinberger 2006, S. 283) hervor, wie das in der Computersimulation der Fall ist (vgl. Abschnitt 5.2.6). Zum anderen erwächst Iterabilität auch aus den zahlreichen Rekontextualisierungsmöglichkeiten der generischen Informationsstrukturen und den darin angelegten Möglichkeiten einer *deep remixability* (vgl. Abschnitt 3.2 und 5.2.1), die nach MANOVICH vor allem aufgrund der modularen Struktur und Manipulierbarkeit digitaler Objekte entsteht. *Deep remixability* bezieht sich dabei nicht nur auf das Kombinieren und Neuordnen medialer Repräsentationsformen und Inhalte, sondern beinhaltet auch das Zusammenführen von *Techniken* und *Methoden* (vgl. Manovich 2013, S. 46). Daran anknüpfbar sind DEWEYS Überlegungen zum experimentellen Handeln als einem *Neu-in-Beziehungsetzen* durch „Operationen des Schneidens, Abtrennens, Aufteilens, Ausdehnens, Zusammenstückelns, Verbindens, Versammelns und Vermischens, Aufhäufens und Austeilens“ (Dewey 1998, S. 158). Es lässt sich feststellen, dass diese Form experimentellen Handelns innerhalb digitaltechnischer Strukturen aufgrund ihrer Konstitution als generische Informationsstrukturen meist schon mit einfachen technischen Mitteln, wie entsprechend verfügbarer Software und Apps, möglich wird. Diesen tentativen Praktiken wohnen dabei auch Charakterzüge des Spiels inne (vgl. Abschnitt 5.2.1).

Diese habe ich u. a. am Beispiel gängiger QDA-Software diskutiert. Über ihre zahlreichen Retrieval- und Rekontextualisierungsfeatures leisten viele der umfangreichen QDA-Softwaretitel der von Lev MANOVICH diagnostizierten *remixability* Vorschub, sowohl in Bezug auf Repräsentationsformate als auch methodische und verfahrenstechnische Möglichkeiten. So ermöglicht die digitale Codierung und Strukturierung von Daten- und Prozesserraum innerhalb der Software ein einfaches ‚Neuinszenieren‘ von Daten – so u. a. durch Visualisierungstools – und damit ein tentatives, spielerisches Erproben sowohl von Darstellungsmöglichkeiten als auch methodischen Analysezugängen. Mit jenen in der Software angelegten Mitteln lassen sich Erkenntnisgegenstände, wie beispielsweise ein Kategoriensystem, durch sukzessives technikvermitteltes Rekontextualisieren der Daten allmählich ‚herausschälen‘ (vgl. Abschnitt 5.2.3).

Im Zusammenhang von *deep remixability* zeigt sich außerdem, dass die umfangreichen QDAS-Pakete wie MAXQDA mit Affordanzen einhergehen, die es Wissenschaffenden

nahelegen, „die erweiterten methodischen Möglichkeiten [der Software] zu nutzen“, also gerade auch solche Funktionen und Methoden, die noch von keinem „Methodenlehrbuch“ erfasst wurden (Rädiker/Kuckartz 2019, S. 11 f.) – dazu gehören heute u. a. auch Verknüpfungen der Softwaretitel mit den neueren transformerbasierten Verfahren des Natural Language Processing (vgl. Abschnitt 5.2.3). Aufgrund dieses Überschusses an Möglichkeiten sind Forschende in der Lage, ihr analytisches Vorgehen im Sinne von Bricolage “from the tools at hand” zu konstruieren, das heißt, sie können aus dem in der Software zur Verfügung stehenden Möglichkeitsraum Funktionen und Werkzeuge nach Bedarf für den jeweils eigenen Gang der Untersuchung adaptieren, anstatt “passively receiving the ‘correct,’ universally applicable methodologies” (Kincheloe 2005, S. 324). Zu eruieren, inwieweit Affordanzen für ein solches tentatives, bricolageartiges Vorgehen in der Datenanalyse tatsächlich ausgenutzt werden und inwieweit sich dadurch womöglich auch methodologische Selbstverständnisse (nicht nur) des qualitativen Forschens verschieben, wäre allerdings Aufgabe weiterführender empirischer Studien.

Mit Blick auf die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen bleibt an dieser Stelle zunächst festzuhalten, dass das bricolageartige Justieren und Rekonfigurieren, letztlich das ‚Spielenkönnen‘ mit dem Material unter Zuhilfenahme der zahlreichen softwaretechnisch vermittelten Rekontextualisierungsmöglichkeiten, eine der zentralen epistemischen Affordanzen digitaltechnischer Softwarestrukturen bildet. Das softwarevermittelte ‚Handlungsangebot‘ eröffnet dabei zugleich auch Möglichkeiten für eine experimentelle Annäherung an die technischen Systeme selbst, da durch das Ausprobieren ihres Überangebots an Funktionen und die dabei entstehenden ‚Rückmeldungen‘ über die vielfältigen visuellen und textbasierten Repräsentationsformen auch Aufschlüsse darüber möglich werden, wie das technische System die Eingaben und ‚Aufforderungen‘ der Forschenden letztlich ‚versteht‘. Ein solches Lernen über Handlungskonsequenzen bzw. sinnlich wahrnehmbarer, ‚analoger‘ Resultate des Handelns mit Technik ist aus pädagogischer Perspektive u. a. mit pragmatischen Theoriepositionen verknüpfbar, wie sie in etwa von John DEWEY entwickelt wurden. An diese werde ich im Zusammenhang der bildungsorientierten Perspektivierung dieser Analyse im letzten Teil der Studie verstärkt anknüpfen (vgl. Abschnitt 6.2.2).

Für Burkhard SCHÄFFER liegt der Reiz einer algorithmischen und auch auf Basis neuer KI-Techniken gestützten Wissensproduktion vor allem in der Kombination menschlicher Interpretationsleistungen mit den Fähigkeiten der technischen Systeme zur „komplexen Verarbeitung und überraschenden Rekontextualisierung“ auch unstrukturiert vorliegender großer Datenmengen (Schäffer 2022b, S. 46). Im Kontext rekonstruktiver qualitativer Verfahren fallen die Systeme dadurch auf, dass sie *Überraschungsmomente* sowie *Irritationspotentiale* liefern, die den interpretierenden Forschenden zu „abduktiven Sprüngen“ verhelfen können (Schäffer/Lieder 2023, S. 120). Denkbar ist die Genese von überraschenden und irritierenden Resultaten aufgrund der in Rekurs auf Yuk HUI (2019) skizzierten rekursiven und kontingennten Dimensionen algorithmischer Verarbeitungsprozesse (vgl. Abschnitt 3.3). HUI hatte die Rekursion auch als Mechanismus bezeichnet, der

“allows novelty to occur, not simply as something coming from outside but also as an internal transformation” (Hui 2019, S. 138). Insbesondere die Integration probabilistischer Verfahren, die den *Zufall als Methode* implementieren, kommt dabei in der Rekontextualisierung von Datenmaterialien zum Tragen. Diese spielen sowohl in Deep-Learning-Verfahren (vgl. LeCun/Bengio/Hinton 2015, S. 438) als auch in der Entwicklung von Computersimulationen (zum Beispiel im Kontext von Monte-Carlo-Algorithmen) eine Rolle (vgl. Formanek 2017, S. 30–33; Hui 2019, S. 139). Wird die Idee der Iterabilität, die im Sinne DERRIDAS „die Wiederholung mit der Andersheit verknüpft“ (Derrida 2020, S. 80; vgl. auch Krämer 2004b, S. 16), auf Algorithmen übertragen, bedeutet dies, dass auch den algorithmischen Iterationen Abweichungen inhärent sind. Das Versprechen der Algorithmen, eine „identische Iteration“ herzustellen sowie „einfache Modellierungen“ und damit „präzise Vorhersagen“ zu ermöglichen (Roberge/Seyfert 2017, S. 24), erweist sich vor dem Hintergrund der Berücksichtigung insbesondere ihrer rekursiven und kontingenzen Eigenschaften als unhaltbar. Während Technik nicht selten als Metapher für Eindeutigkeit, für die Operationalisierbarkeit und Objektivierbarkeit von Kausalzusammenhängen gilt, wie klassische Technikvorstellungen es suggerieren, produzieren algorithmische Vollzüge aufgrund der Integration von Rekursivität und Kontingenz auch emergente Resultate, in denen sich einfache Kausalbeziehungen zwar nicht mehr zurückverfolgen lassen, die aber Strukturvorschläge für den Menschen erzeugen (vgl. Harrach 2014), die wiederum zu Abdunktionsanlässen werden können. Letztlich hängt es jedoch von den Vorstrukturierungen, vom Vorwissen und den Vorurteilen der interpretierenden Forschenden ab, ob technisch induzierte Strukturvorschläge tatsächlich zu Abdunktionsanlässen werden. Hinzu kommt, dass auch probabilistische Verfahren Datenbestände verarbeiten, die selbst Vorurteilsstrukturen, sogenannte *biases*, enthalten, die auch im Kontext algorithmischer Prozessierung reproduziert werden (vgl. Friedman/Nissenbaum 1996).

Entscheidend ist daher die Entwicklung eines reflexiven Verhältnisses zwischen Mensch und technischem System, das sich in Rekurs auf die Arbeit von SCHÄFFER und LIEDER durch iterative ‚Austauschprozesse‘ schrittweise etablieren lässt, und zwar durch Prozesse von ‚Training‘ bzw. Konfiguration, Strukturvorschlägen des technischen Systems und Interpretation durch die Forschenden. Die Autoren haben in diesem Zusammenhang den Begriff der *verteilten Interpretation* (Schäffer/Lieder 2023, S. 120) vorgeschlagen (vgl. Abschnitt 5.2.3). Der verteilte Interpretationsprozesse stellt dabei einen reziproken Prozess des ‚Sich-Aufeinandereinstellens‘ von technischem System und menschlichen Interpretierenden dar, der auch für Bildungsprozesse von Interesse sein kann, da er eben gerade nicht die fraglose Nutzung des technischen Systems vorsieht, sondern aufgrund der Responsivität digitaltechnischer Systeme einen Austauschprozess evoziert, in dem sowohl die responsive Technik als auch der reflexionsbereite Mensch ‚voneinander lernen‘ können. In diesem Prozess ‚verteilter Erkenntnisarbeit‘ zwischen Mensch und technischem System (vgl. auch Rammert/Schulz-Schaeffer 2002a), deren Potential vor allem in der Konstruktion eines erweiterten Inspirationsraums für menschliches Räsonnieren und Abduzieren besteht, müssen menschliche Wissenschaftende aber stets auch selbst ‚Hand‘ anlegen, indem sie das technische ‚Experimentalsystem‘ einrich-

ten, es in lokale Kontexte einbetten und dessen Resultate interpretieren. Dies lässt sich auch auf SHINNS und JOERGES' Argumentation beziehen, die generischer Forschungstechnik eine *praxisbasierte* Form der Objektivität zuschreiben, insofern sie auf der gesammelten Erfahrung aus situativen Praktiken der Wiedereinbettung in den unterschiedlichen lokalen Forschungskontexten basiert (vgl. Shinn/Joerges 2002, S. 245). Dazu passt GRAMELSBERGERS Argumentation im Zusammenhang der Computersimulation, dass nämlich das Computerlabor von den Modelliererinnen und Modellierern nicht nur als „Theorie Raum“, sondern als „Möglichkeitsraum“ betrachtet wird (Gramelsberger 2010, S. 272 f.), aus dem sich u. a. durch technisches Handeln das darin Entdeckbare herausschälen und stabilisieren lässt. Damit zusammenhängende Prozesse der Modellierung und des ‚Einrichtens‘ des technischen Systems laufen dabei nicht nach explizierbaren, systematischen Verfahren ab, sondern tentativ, durch beständige „Rückkopplungen und (Re-)Konfigurationen auf allen Ebenen“ (ebd., S. 226). Erkenntnisgewinn resultiert hier weniger aus dem fertigen Konstrukt der Computersimulation, sondern vor allem aus dem beständigen Austauschprozess zwischen Modelliererinnen und Modellierern und dem computerbasierten Experimental system (vgl. ebd., S. 225).

Die in diesem Abschnitt zusammenfassend aufgezeigten Vorgehensweisen des tentativen Einrichtens, Justierens, Konfigurierens und Rekonfigurierens digitaltechnischer Systeme bilden zentrale epistemische Praktiken, über die Forschende im Modus ‚verteilter Erkenntnisarbeit‘ Erkenntnisgegenstände bzw. epistemische Dinge sukzessive ‚herausschälen‘. Diese Praktiken können aber auch zu einer spezifischen Form eines technischen Orientierungssinns beitragen, der dadurch entsteht, dass Wissenschaffende durch das Einrichten und Konfigurieren des technischen Systems, das Rearrangieren von dessen Bedingungen, Modellierung sowie das Interpretieren dabei entstehender Resultate auch viel über die Technik selbst erfahren können. Was sich dabei einstellt ist eine gewisse „Erfahrungheit“ sowie eine dadurch „erworbene Intuition“ (Rheinberger 2006, S. 93), die als „Ergebnis eines intimen Zusammenspiels mit dem Experimental system“ (Ahrens 2014, S. 211) entsteht. Zu vermuten ist, dass solche tentativen Praktiken sowie die damit verbundene „Art experimentellen Spielens mit Dingen“ (Dewey 1998, S. 90) zudem auch Möglichkeiten eröffnen, sich den kognitiv schwer durchschaubaren Dimensionen digitaltechnischer Strukturen zu nähern. Mit Blick auf die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen wirft dies die Frage auf, inwieweit solche tentativen Praktiken mit digitaler Technik in situativen, interessengeleiteten Zusammenhängen auch als Vorbild für Bildungsprozesse im Sinne einer Medien- bzw. Technikbildung dienen können und welche Voraussetzungen dafür erfüllt sein müssen. Mögliche Orientierungs- und Bildungspotentiale solcher tentativer Praktiken mit Technik werden im letzten Teil der Studie theoretisch begründet und beispielhaft diskutiert (vgl. Abschnitte 6.2 und 6.3).

Ein letzter zentraler Gedanke in dieser verdichteten Konturierung von Merkmalen digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit ist verbunden mit der oben postulierten Ausbildung technischer Intuition. Diese Intuition, so meine Interpretation, entsteht dabei vor allem aus einem *interessengeleiteten* – hier: erkenntnisinteressengeleiteten – Erproben techni-

scher Systeme und damit durch eine in situative Erkenntniskontexte eingebettete Auseinandersetzung mit der Technik als Erkenntnis- bzw. *Forschungsobjekt*. Daran anknüpfend wird im Folgenden die interessengeleitete forschende Auseinandersetzung mit digitaler Technik als Triebfeder für die Entwicklung eines Orientierungssinns innerhalb digitaltechnischer Strukturen skizziert.

Interessengeleitetes Forschen als Movens zur Entwicklung von Orientierungssinn

Deutlich wurde aus der Analyse epistemischer Praktiken innerhalb digitaltechnischer Strukturen, dass Orientierung meist aus der Position einer *interessengeleiteten produktiven* Auseinandersetzung mit der Technik stattfindet, in der digitale Technik auch selbst einen Teil des Forschungs- und Erkenntnisinteresses darstellt – und das nicht nur in den ‚technikaffinen‘ Natur- und Technikwissenschaften, sondern auch in den Geistes- und Sozialwissenschaften, die sich die Potentiale digitaler Technik zunutze machen wollen. Das heißt: Erkenntnisfortschritt entsteht hier nicht mehr nur allein aus der Beschäftigung mit dem *domänen spezifischen* Erkenntnisgegenstand der eigenen Disziplin, bei der Technik lediglich als nützliches Mittel des Erkenntnisgewinns fungiert, sondern auch aus der Auseinandersetzung mit den technischen und damit einhergehend auch mathematischen und logischen Bedingungen jener technischen Mittel im Kontext eigener Erkenntnisinteressen.

Sichtbar wird diese auch epistemische Auseinandersetzung mit den computertechnischen Experimental systemen u. a. in der seit den 1950er Jahren begonnenen Gründung von *Computational Departments*, die zum von GRAMELSBERGER beschriebenen Wandel der Naturwissenschaften zu Computational Sciences entscheidend beitrugen (vgl. Gramelsberger 2010, S. 95) und die in nahezu allen naturwissenschaftlichen Disziplinen in den letzten Jahrzehnten entstanden sind (vgl. Gramelsberger 2010, S. 92). Computational Departments folgen dabei „einer eigenen Forschungslogik“, die auf der Abhängigkeit naturwissenschaftlichen „Erkenntnisfortschritts von der Leistungsfähigkeit der Rechner“ basiert (ebd., S. 95). Heute sind weder Kernforschung (wie z. B. im Kontext des CERN) noch Klimaforschung, Genforschung, Entwicklung von Arzneimitteln oder Astrophysik ohne leistungsstarke und zugleich vernetzte Hoch- und Höchstleistungsrechenstrukturen wirklich erkenntniserweiternd möglich. In diesen Kernforschungsbereichen verlangen viele Fragestellungen nach komplexen Modellierungen und Berechnungsmodellen, Künstlichen-Intelligenz-Techniken sowie Techniken, die die Analyse großer Datenmengen erlauben. Mit der zunehmenden Komplexität von Modellen und der wachsenden Datenmenge nehmen Anforderungen an die Hochleistungsrechenstrukturen zu, deren Weiterentwicklung – und damit Technik als *Forschungsobjekt* – zur Voraussetzung für den Erkenntnisfortschritt in vielen Forschungsfeldern wird (vgl. BMBF 2021, S. 4; DFG 2020, S. 7).

Aber auch im Kontext der Computational Social Sciences (vgl. Abschnitt 5.1.4) wird ersichtlich, dass Erkenntnisfortschritt daran geknüpft ist, digitale Technik und die mit ihr zusammenhängenden mathematischen und algorithmischen Zusammenhänge selbst als Erkenntnisobjekt zu berücksichtigen. So verfügt das Leibniz-Institut für Sozial-

wissenschaften (GESIS), wie erwähnt, über ein eigenes „Computational Social Science“-Department (vgl. GESIS o. J., o. S.), dessen Ziel es u. a. ist, „den Stand der Technik“ im Bereich der Data Sciences voranzubringen sowie „verbesserte Grundlagen für die Beschreibung, Quantifizierung und Erklärung soziotechnischer Phänomene zu schaffen“ (vgl. ebd., o. S.). Das Beispiel verdeutlicht die Notwendigkeit einer *domänenspezifischen*, an den Erkenntnisinteressen der Sozialwissenschaften ausgerichteten, Auseinandersetzung mit den digitaltechnischen Bedingungen des eigenen Forschens. Auch der Methodendiskurs in den Digital Humanities kann als (erkenntnis)interessengeleitete Auseinandersetzung mit der digitalen Technik für geisteswissenschaftliche Fragestellungen gelten: Wie erwähnt, deuten MEEKS und WEINGART die eingehende Beschäftigung der Digital Humanities mit der Entwicklung digitaler Werkzeuge damit, dass diese Tools als *Vergegenständlichung von Methoden* zu betrachten seien und die Auseinandersetzung mit und Weiterentwicklung von technischen Werkzeugen eine neuartige Form *methodischen Denkens* zum Ausdruck bringt (vgl. Meeks/Weingart 2012, S. 5). Sowohl in den Digital Humanities und der Digital Sociology bzw. den Computational Social Sciences gehen fach- und technikspezifische Erkenntnisinteressen Hand in Hand, es werden also inhaltliche Fragen mit Fragen ihrer technischen Umsetzungsmöglichkeiten verknüpft. Diese Doppelperspektive kultiminiert in intensiven technologisch-methodologischen Diskursen am Kristallisierungspunkt der digitalen Technik, in denen versucht wird, einen *gemeinsamen Interessensgrund* für die Bearbeitung technischer und inhaltlicher Fragen zu finden, also dafür, Technik als *Mittel* und Technik als *Erkenntnisobjekt* zusammenzudenken – eine Einstellung, in der ich Anknüpfungspunkte auch für eine interessengeleitete, an situativen Bildungsinteressen ausgerichtete Auseinandersetzung mit digitaler Technik in Bildungskontexten sehe, wie im abschließenden Teil der Studie u. a. in den Blick genommen wird (vgl. Abschnitt 6.1.2).

Ausgangspunkte für eine bildungsorientierte Auseinandersetzung mit digitaler Technik
Auf Grundlage der zuvor entfalteten Konturen digitaler Technik und digitaltechnischer Erkenntnisräume, kann zusammenfassend argumentiert werden, dass *Orientierungsmöglichkeiten* in einer vom digitalen Wandel geprägten Welt drei *Grundvoraussetzungen* unterliegen:

- (1) Orientierung kann aufgrund des gesellschaftlichen Durchdringungscharakters digitaler Technik nur innerhalb eines digitaltechnischen Allgemeinen, also immanent stattfinden. In dieser Hinsicht – wie noch zu argumentieren sein wird – erweist sich der Orientierungsbegriff auch zielführender als eine Vielzahl gängiger Auffassungen von *Kompetenz*, denn Menschen orientieren sich *in* einer Umgebung, in der sie sich auch befinden, Kompetenz dagegen erfordert den Blick einer außenstehenden Beobachterin bzw. eines außenstehenden Beobachters, die oder der es vermag, den Zustand der Welt und das Wissen und Können, das für ihre Bewältigung benötigt wird, zu beschreiben. Für Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen liefert aber die digitale

Technik, die als inhärent offene und flexibel konfigurierbare gelten kann, auch selbst geeignete Reflexionsmittel.

(2) Mit dem Durchdringungscharakter digitaler Technik einher geht, dass digitaltechnische Expertensysteme längst zum *selbstverständlichen* und damit zunehmend weniger ‚irritierenden‘ Teil menschlicher Lebenswelt geworden sind, eine Vorstellung, die ich u. a. in Rekurs auf die Überlegungen Hans BLUMENBERGS (2020) zur Antinomie von Leistung und Einsicht aufgegriffen habe (vgl. Abschnitt 2.2.2). Menschen können über technische Mittel als Expertensysteme verfügen, ohne ihre Funktionsweisen eingehend verstehen zu müssen. Durch eine solche lediglich verfügende Nutzung technischer Mittel werden Menschen entlastet. Entlastung bedeutet aber stets auch, den eigenen Blick auf *Neues* richten zu können – zum Beispiel die Genese *neuen Wissens*. In ihrer Funktion als selbstverständlich nutzbare Expertensysteme ist gerade bei der digitalen Technik mit ihren nutzerfreundlichen Oberflächen mit zunehmend weniger material Widerständigem zu rechnen. Da gerade negative Erfahrungen und Störungen aber häufig Reflexionsanlässe bieten, kann davon ausgegangen werden, dass digitale Technik in Gestalt nutzerfreundlicher Expertensysteme eine Reflexion *über sie* von sich aus nicht ‚anbietet‘. Gerade die mit dem *Selbstverständlichen* der Technik zusammenhängende Invisibilisierung technischer Funktionen in Expertensystemen ist aber dann problematisch, wenn dabei auch solche Vorgänge verdeckt werden, die für die *Interpretation* der durch sie verarbeiteten Informationen und erzeugten Resultate bedeutsam wären. In Bezug auf die Frage der Orientierungsmöglichkeiten innerhalb solcher technischer Systeme wäre also zu fragen, inwiefern und mit welchen Strategien *Widerständiges* wieder zu einem Teil dieser digitaltechnischen Lebenswelt werden kann. GRAMELSBERGER argumentiert in Bezug auf die computertechnischen Experimentalssysteme im Kontext der Computersimulation, dass Forschende sich in diesen nicht „wie im klassischen Experimentallabor auf materiale Widerständigkeit [...] als Korrektiv“ (Gramelsberger 2010, S. 272) berufen können. In diesem Zusammenhang gilt es zudem zu berücksichtigen, dass Orientierung innerhalb digitaltechnischer Strukturen zunehmend in einem Kontext stattfindet, der in erheblichem Maße von technischem Nichtwissen (vgl. Friedrich et al. 2017) geprägt ist, ein Nichtwissen, das aufgrund intrinsischer Opazität (vgl. Abschnitt 5.1.3) sowie algorithmischer Rekursivität und Kontingenz (vgl. Abschnitt 3.3) teilweise auch nicht mehr auflösbar bzw. durch die ‚Vermittlung‘ *explizierbaren Wissens* und *Könnens* einholbar ist.

Die Forschenden im Kontext der Simulationsforschung behelfen sich vor dem Hintergrund solcher Intransparenzen und fehlender materialer Widerständigkeiten damit, dass sie den technischen Experimentalraum nicht allein als Theorieraum, sondern als „Möglichkeitsraum“ konzipieren und diesen dadurch selbst zum *Gegenstand* experimentellen Forschens machen (Gramelsberger 2010, S. 272 f.). Eine solche interessengeleitete, „produktive Verwicklung“ (Allert/Asmussen 2017, S. 27 f.) mit dem System, der Versuch, dieses für eigene Erkenntniszwecke zu konfigurieren, ‚trickreich‘ zu justieren und zu verbessern, sorgt dabei dafür, dass Technik nicht nur als stabilisierende, Routinen erzeugende *Antwortmaschine* fungiert, sondern stets auch als *Fragemaschine* und damit

Erkenntnisobjekt zugegen ist (vgl. Gramelsberger 2010, S. 273 f.; Rheinberger 2006, S. 33 f.). Genau in einer solchen Form der interessengeleiteten produktiven Verwicklung mit den technischen Systemen, so meine Annahme, liegt auch eine Möglichkeit zur Entwicklung eines reflexiven Verhältnisses zur Technik (vgl. Abschnitte 6.2 und 6.3).

(3) Aufgrund ihrer interpretativen Flexibilität und Deutungsoffenheit als Teil ihrer generischen Grundstruktur ist es möglich, digitaltechnische Möglichkeitsräume in zahlreiche Kontexte einzubetten, sie sich anzueignen bzw. sie für ein Nachgehen sehr unterschiedlicher Erkenntnisinteressen nutzbar zu machen. Die prinzipielle Unbestimmtheit digitaler Technik, die „Potenzen [...] für freibleibende Zwecke“ (Freyer 1970, S. 139) bereitzustellen vermag, zieht zum einen die Anforderung nach sich, sich diese Strukturen auch aneignen zu müssen und eröffnet damit einen gewissen Reflexions- und Bildungsanspruch an die Technik. Zugleich liegen gerade in ihrer Unbestimmtheit auch technikimmanente Orientierungs- und Bildungsmöglichkeiten, da Bildung stets auch vom „Spiel mit Unbestimmtheiten“ (Marotzki 1990, S. 153) lebt.

Aufgrund ihrer inhärenten Offenheit generiert digitale Technik dabei auch nicht nur eindeutige ‚Antworten‘ in Form Identität erzeugender Ursache-Wirkungs-Relationen und Routinen (Mittel, technische Dinge), sondern stets auch *Fragen* (epistemische Dinge) – Fragen, an denen auch Reflexion über Technik und damit Orientierung stattfinden kann. Vor diesem Hintergrund geht es auch bei der Suche nach pädagogischen und bildungsorientierten Bezugspunkten zur digitalen Technik und entsprechenden Orientierungsmöglichkeiten nicht mehr darum, in techniqueuphorischer Zu- oder nostalgischer Abgewandtheit „Chancen und Risiken“ dieser Technik für Individuum und Gesellschaft zu erörtern (vgl. Deutscher Bundestag 2018; Schaumburg 2015), sondern darum, epistemische Vorannahmen – die Epistemologie – digitaltechnisch vermittelter Welterschließungsformen *offenzulegen*, zugleich jedoch die durch sie eröffneten Möglichkeits- und Experimentalräume für Erkenntnis- wie auch Bildungsprozesse *nutzbar* zu machen. Die in der Studie analysierten Beispielen digitaltechnikbasierter wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit ließen erkennen, dass digitale Technik nie nur Mittel, sondern stets auch selbst Erkenntnisobjekt ist. Zu erörtern ist nun, wie dieses fruchtbare Wechselverhältnis von Technik als Mittel und Erkenntnisobjekt auch in Bildungskontexten gefördert werden kann. Zugleich ist aber auch die Frage von Interesse, was Immanenz, inhärente Offenheit, Intransparenz und Iterabilität bzw. Tentativität für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb der Strukturen eines digitaltechnischen Allgemeinen bedeuten. Diesen Fragen gehe ich im folgenden abschließenden Teil der Studie nach.

6. Orientierung innerhalb des digitaltechnischen Allgemeinen – eine wissens- und bildungstheoretische Einordnung

6.1 Vom Widerspruch zur produktiven Verwicklung

6.1.1 Zum Widerspruch von Bildung und Herrschaft

Nach Johannes ROHBECK zeigt sich die „Ambivalenz technischer Mittel“ in der „relative[n] Undeterminiertheit“ von Technik, deren „dadurch erweiterte[...] Aktionsmöglichkeiten“ sich aber zugleich nur „innerhalb“ des durch die Technik etablierten „technologischen Determinationszusammenhangs“ ausschöpfen lassen (Rohbeck 1993, S. 254; H. i. O.). Wie bereits ausgeführt, geht es ihm insbesondere darum, Handlungsspielräume innerhalb eines technischen Systems *begrenzter Vielfalt* (vgl. ebd., S. 248) zu suchen. Auch in (wissenschaftlichen) Erkenntnisprozessen fungiert digitale Technik als Möglichkeitsraum begrenzter Vielfalt, denn trotz ihrer strukturierenden Struktur als Berechenbarkeitslogik, physisches Objekt bzw. Hard- und Softwarestruktur bleibt sie als generischer Sprach-, Repräsentations- und Operationsraum stets eine adaptierbare und damit gestaltbare. Die allgemeinen und strukturierenden Dimensionen der digitalen Technik äußern sich ja gerade darin, dass sie von interpretativer Flexibilität geprägt sind, die Handlungsmöglichkeiten mit ihr nicht ausschließlich vorstrukturieren, sondern auch flexibilisieren. Aus welcher Perspektive könnte nun eine bildungsorientierte Annäherung an jene ambivalente Struktur digitaler Technik erfolgen?

Bildungstheoretische Anknüpfungspunkte für ein Nachdenken über die ambivalente Grundstruktur menschlicher Lebensverhältnisse können Überlegungen aus der Kritischen Bildungstheorie liefern. Einen weiterführenden Ausgangspunkt bildet hier beispielsweise die von Heinz-Joachim HEYDORN skizzierte Vorstellung des *Widerspruchs* als Beschreibung für das spannungsreiche Verhältnis vom *Allgemeinen* zum *Einzelnen*, das HEYDORN u. a. in seiner Auseinandersetzung mit dem Spannungsfeld von *Bildung* und *Herrschaft* (vgl. Heydorn 2004c) ausformuliert hat, ein Widerspruchsverhältnis das sich für Peter EULER im Hinblick auf die technologische Grundkonstellation moderner Gesellschaften bedeutend radikalisiert hat (vgl. Euler 1999, S. 17). Dan VERSTÄNDIG wiederum markiert individuelle „Suchbewegungen“ im Spannungsfeld vom Allgemeinen und Besonderen gerade vor dem Hintergrund des digitalen Wandels als höchst relevant für eine Bildungsperspektive, „da sie die Frage nach der Herstellung von Orientierung adressieren“ (Verständig 2020b, S. 11). Das Spannungsverhältnis von Bildung und Herrschaft wird in diesem Abschnitt im Hinblick auf seine Bedeutung für die Diskussion um eine „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK 2017) in den Blick genommen. Skizziert werden dabei – vorwiegend in Rekurs auf die Position HEYDORNS¹¹⁸ – Emanzipationsmöglichkeiten des Menschen vor dem Hintergrund ambivalenter digitaltechnischer Strukturen.

Es war u. a. Theodor LITT, der die Vorstellung einer *antinomischen Struktur* menschlicher Existenzweise für eine Revision des humanistischen, auf Harmonisierung der Kräfte

¹¹⁸ Dabei stütze ich mich vorwiegend auf die Analyse Carsten BÜNGERS (2009).

angelegten Bildungsbegriffs weiterdachte. Kern seiner Überlegungen war, dass Antinomien zwar erkannt werden können, ihr Spannungsgehalt sich dadurch aber nicht auflöst (vgl. Oelkers 1985, S. 664), sondern nur reflexiv aufgegriffen werden kann. Als Antinomien bezeichnet LITT die Widersprüchlichkeiten, die durch die unterschiedlichen Modi und Möglichkeiten menschlicher Erfahrung und Welterschließung entstehen und die in der „Grundstruktur“ des Menschen angelegt sind. LITT bezeichnet hier vor allem das Spannungsverhältnis zwischen Naturwissenschaft und Menschenbildung als „echte Antinomie“ (Litt 1954, S. 101 f.). LITTS Interesse gilt der Frage, „wie sich der Mensch im Zeitalter der Wissenschaften noch selbst denken und sich verantwortlich handelnd der Wirklichkeit aussetzen kann“ (Oelkers 1985, S. 665). Basis für die Beantwortung dieser Frage ist dabei die Einsicht in die „Zweideutigkeit des menschlichen Seins“ (Litt 1948, S. 100–141) und damit in die „antinomische Struktur des Lebens“ (Oelkers 1985, S. 665). Allerdings ist es dem Menschen aufgrund seines geistigen Vermögens möglich, Bewältigungsstrategien zu entwickeln, die auf der Reflexion ebendieser antinomischen Strukturen und damit einem ‚Denkenkönnen in Widersprüchen‘ beruhen (vgl. ebd., S. 665 f.).

Die von LITT freigelegte antinomische Grundstruktur menschlicher Erkenntnis- und Erfahrungsmöglichkeiten betrifft heute aus Sicht der Pädagogik auch das Pädagogische selbst. So hat u. a. Michael WIMMER in dekonstruktivistischer Absicht das „Paradox“ als „Kern des Pädagogischen“ (Wimmer 2014, S. 13) identifiziert. Werner HELSPER geht davon aus, dass pädagogisches Handeln sich prinzipiell in Antinomien vollzieht und fasst gerade das *Widersprüchliche* als konstitutives Element des Pädagogischen, das „nicht aufgehoben, sondern nur reflexiv gehandhabt“ werden kann (Helsper 1996, S. 528; vgl. Hainschink/Abu Zahra-Ecker 2018). Pädagogik steht dabei vor der Aufgabe, unstrukturierte, nicht vollständig erfassbare und insgesamt nicht ‚berechenbare‘ Vorgänge wie Lernen und Bildung explizieren zu müssen, so beispielsweise, indem sie diese für die Ausbildung von Lehrerinnen und Lehrern in eine ‚lehrbare *technē*‘ zu fassen versucht (vgl. Löbl 2003, S. 174), das heißt also in der Terminologie dieser Studie, einen eigentlich nicht technisierbaren Vorgang in gewisser Hinsicht zu technisieren versucht. Demgegenüber steht allerdings die Annahme, dass pädagogische Prozesse von einem „Technologiedefizit“ (Luhmann/Schorr 1982) geprägt sind. Nach Niklas LUHMANN und Karl Eberhard SCHORR sind pädagogische Prozesse gerade nicht in Kausalzusammenhängen fassbar. Gegenüber der Erziehungswissenschaft als positiver „Möglichkeitswissenschaft“, die das „Plan- und Machbare, Realistische und Mögliche“ im Blick hat, zeichnet WIMMER beispielsweise die geisteswissenschaftliche Tradition der vom Paradoxen bzw. vom Widerspruch geprägten Pädagogik als „Wissenschaft des Unmöglichen“ (Wimmer 2014, S. 22).

Am pointiertesten und aus dem Blickwinkel der Kritischen Bildungstheorie hat Heinz-Joachim HEYDORN die Widersprüchlichkeit der *Bildung* selbst in die bildungstheoretische Diskussion eingebracht und dabei Bildung als Austragungsort gesellschaftlicher Widerspruchsverhältnisse rekonstruiert, so u. a. den Widerspruch von *Bildung* und *Herrschaft* (vgl. Heydorn 2004c). Von Interesse ist dabei HEYDORNS Anliegen, vor dem Hintergrund

der herrschaftlichen Strukturen des Allgemeinen Möglichkeiten von Emanzipation zu identifizieren (vgl. Bünger 2009, S. 179 f.). Wer sich heute allerdings mit dem Begriff der Emanzipation beschäftigt, macht sich Carsten BÜNGER zufolge des „Anachronismus verdächtig“, da Formen des Widerstands gegen herrschaftliche Ansprüche heute nicht selten „nach und nach produktiv aufgenommen und in Herrschaft integriert“ (ebd., S. 171) werden.

Vor dem Hintergrund gegenwärtiger, u. a. auf probabilistischen und ‚lernenden‘ Verfahren basierender, digitaltechnischer Systeme und Infrastrukturen scheint diese Diagnose aktueller denn je und provoziert die Frage, inwiefern Emanzipation angesichts eines zunehmenden „Kontrollüberschusses“ technischer Systeme (Baecker 2007, S. 140) überhaupt noch möglich ist. Kontrollüberschuss entsteht Dirk BAECKER zufolge dadurch, dass „Computer mit einem eigenen Gedächtnis an der Kommunikation der Gesellschaft“ (ebd., S. 140) beteiligt sind, damit aber auch die Bedingungen der Möglichkeiten von Kritik, Reflexion und letztlich Orientierung beeinflussen. Fraglich ist dabei insbesondere, inwiefern die Vorstellung einer *Emanzipation* gegenüber solchen technischen Strukturen noch über tradierte Konzepte von Bildung als subjektbezogene, individuelle Bildungsprozesse oder Prozesse des Kompetenzerwerbs einholbar sind (vgl. Engel/Kerres 2023, S. 5; Knaus/Merz/Junge 2023, S. 9). Dabei erweist sich ein Rückblick auf HEYDORNS Analyse der Bildungsverfassung seiner Zeit als hilfreich für die Diagnose aktueller Veränderungen vor dem Hintergrund des digitalen Wandels, denn HEYDORN fordert Emanzipation nicht schlicht ein, sondern fragt, unter welchen Bedingungen Emanzipation und Kritik angesichts einer in Herrschaftsverhältnisse verwickelten Bildung gedacht werden müssen (vgl. Bünger 2009, S. 171).

HEYDORN widmete sich „den Möglichkeiten einer Befreiung der Menschen aus gesellschaftlich produzierten Zwangsverhältnissen“ und stellt die Frage nach den „Bedingungen der Kritik und der Möglichkeit von Emanzipation“. Diese deutet HEYDORN im Kontext der dialektischen Spannungsfelder von „Freiheit und Geschichte, Spontaneität und Reflexion, Universalität und Individualität, Bildung und Herrschaft“ (Bünger 2009, S. 171 f.). BÜNGER zufolge stehen diese exemplarisch für HEYDORNS Ansinnen, „dialektische Verhältnisse als widersprüchliche Momente gesellschaftlicher Realität“ sichtbar zu machen (Bünger 2009, S. 172). In Anlehnung an einige der Positionen HEYDORNS wird der in dieser Studie entfaltete Topos eines Spannungsfelds von technischer Struktur und technischem Möglichkeitsraum bildungstheoretisch anknüpfbar.

Zentrales Problem für die von HEYDORN diagnostizierte Bildungsverfassung seiner Zeit besteht vor allem darin, dass Bildung trotz ihrer emanzipatorischen Zieldimensionen und daran anknüpfenden Emanzipationsbemühungen zugleich immer auch „Mittel der Fremdbestimmung“ (Heydorn 2004a, S. 235) war und ist, denn vor dem Hintergrund kapitalistischer Verwertungsstrukturen werden Bildung und ihre Institutionen, z. B. die Schule, funktional vereinnahmt und dadurch Herrschaftsverhältnisse und soziale Hierarchien reproduziert (vgl. Bünger 2009, S. 180). HEYDORNS Bildungsbegriff lässt sich am ehesten als „Austragungsort der verschiedenen gesellschaftlichen Spannungs- und Widerspruchsverhältnisse“ deuten, in denen der Bildungspraxis die Aufgabe zufällt, diese

Widersprüche bewusst zu machen „und sie in emanzipatorischer Perspektive zu stellen“ (Bünger 2009, S. 179).

Im Vordergrund von HEYDORNS Analyse des Verhältnisses von Bildung und Herrschaft steht demnach vor allem die Bedeutung der Bildung im Kontext kapitalistischer Verwertungssysteme und deren Innovationsnarrative. Bildungsanforderungen werden demnach nicht nur durch die jeweils erforderlichen Produktionsbedingungen bestimmt, sondern vor allem durch die im kapitalistischen System angelegten Konkurrenzverhältnisse sowie die daraus resultierende Notwendigkeit der Produktionssteigerung. Im Hinblick auf einen steten Wettbewerb, so analysiert BÜNGER die Überlegungen HEYDORNS (vgl. Bünger 2009, S. 181), mussten Produktionsbedingungen aber steter *Kritik* ausgesetzt werden, für deren Ausübung die am System Partizipierenden erst qualifiziert werden mussten. Das für jegliche Innovation also notwendige *creative* und selbstständige Denken wird damit im Sinne kapitalistischer Verwertung und im Dienst des Innovationsnarrativs *funktionalisiert*. Bildung wird damit zur ‚Komplizin‘ der Reproduktion derjenigen Verhältnisse (vgl. auch Herrmann 2016), die durch Bildung eigentlich überwunden werden sollten. Daran lässt sich für HEYDORN die Komplexität des Widerspruchs von Bildung und Herrschaft festmachen (vgl. Bünger 2009, S. 181), in diesem liegen „Emanzipationsprozesse und Unterwerfung unter Funktionszwänge dicht aneinander“ (ebd., S. 181). Die Möglichkeiten der *Überschreitung* bestehender Verhältnisse durch Bildung hängen also eng mit der *Verstrickung* in diese Verhältnisse zusammen und konstituieren den von HEYDORN aufgezeigten Widerspruch von Herrschaft und Bildung.

In seiner historischen Betrachtung zeigt HEYDORN, dass sich Bildung als „stetiges Freilegen von Zukunft als Verwirklichungsprozeß (sic!) des Menschen“ (Heydorn 2004b, S. 257) historischen Herrschaftsverhältnissen verdankt. Herrschaft, um sich etablieren und weiterentwickeln zu können, gründet dabei auf der Organisation von Bildung, beispielsweise in Form von Bildungsinstitutionen. Mit dieser Organisation von Bildung wird aber zugleich auch das *kritische Potential* geschaffen, bestehende Herrschaftsverhältnisse infrage stellen zu können (vgl. Bünger 2009, S. 183). Der Widerspruch gegenwärtiger Bildungskonstellationen ist dabei einer, der jeglichen Bildungsinitiativen immanent ist: Bildung steht nicht einem ihr äußerlichen Herrschaftsdiktat gegenüber, sondern wird gerade durch die „Immanenz“ des sie konstituierenden Verhältnisses von Bildung und Herrschaft bestimmt (ebd., S. 183). Konsequenz dieser Immanenz ist u. a., dass „das, was in der emanzipatorischen Absicht der Überschreitung unternommen wird“ oftmals gerade nicht „subversiv, sondern innovativ wirkt“ (ebd., S. 184) und somit kapitalistische Strukturen oftmals reproduziert, bis dahin, dass jene als Überschreitungen gedeuteten Bestrebungen zum Programm werden (vgl. Heydorn 2004c, u. a. S. 283), wenn nämlich das nicht-konforme ‚Anders-sein‘ (vgl. Bünger 2009, S. 184), und damit im weitestens Sinne „Singularität“ (vgl. Reckwitz 2017), als Bildungsziel marktökonomisch vereinnahmt wird. Selbst emanzipatorische Prozesse werden so in ein gemeinsames Narrativ integriert, in dem Widersprüche „spannungslos“ (Heydorn 2004a, S. 234) aufgehen. Überschreitung im Sinne echter Emanzipationen scheint hier unmöglich und Emanzipation wird in ihr Gegenteil verkehrt (vgl. Bünger 2009, S. 184).

Ein solcher Widerspruch zwischen Herrschaft und Emanzipation kann auch vor dem Hintergrund des digitalen Wandels nachvollzogen werden. Im Kontext einer vom digitalen Wandel geprägten Gesellschaft weisen Forian WEBER-STEIN und Felix HEIDENREICH in ihrem Beitrag zur *Digitalisierung als Pharmakon – Medienbildung unter Bedingungen der Post-Souveränität* darauf hin, dass in der Frühphase des Internets „zivilgesellschaftliche Netzaktivist*innen einem eher anarchischen politischen Selbstverständnis anhingen“, das mit einer „dezidiert anti-staatliche[n] und souveränitätskritische[n]“ (Weber-Stein/Heidenreich 2023, S. 2) Haltung einherging. Mit dem Internet war dabei die Hoffnung auf eine Befreiung von staatlichen Herrschaftsverhältnissen verbunden, während man heute, so die Autoren, konstatieren muss, dass das Internet sich inzwischen „ausgezeichnet in die Überwachungsmaschinerien liberaler wie autoritärer Staaten einfügt und diese optimiert“ (ebd., S. 3; vgl. auch Zuboff 2018). Auch Lawrence LESSIG beschreibt in seinem Buch *Code* (2006) die widersprüchliche Struktur des von ihm als Cyberspace bezeichneten technischen Möglichkeitsraums des Internets und der vernetzten digitaltechnischen Infrastrukturen, die heute mitnichten als freier, unregulierter und quasi natürlich gewachsener Raum gelten können. Denn die Deutungsoffenheit und interpretative Flexibilität der unterliegenden Technologie sorgt dafür, dass die Technik prinzipiell auch für *regulierende Maßnahmen* ausgeschöpft und vereinnahmt werden kann (vgl. Lessig 2006, S. 31 f.), und das gerade nicht durch Entscheidungen der Nutzenden selbst, sondern durch politisch meist unregulierte Designentscheidungen der Entwicklerinnen und Entwickler oder derjenigen, die die Infrastrukturen kontrollieren (vgl. Verständig/Stricker 2022, S. 34). Ausgerechnet aufgrund ihrer relativen Undeterminiertheit, Flexibilität und grundsätzlichen Gestaltbarkeit also konnten in auf Digitaltechnik basierenden Infrastrukturen Regulierungsmechanismen mit Gesetzescharakter jenseits politischer oder normativer Zwecksetzung entstehen, über die das Verhalten von Nutzenden steuerbar wurde. Gerade das Internet als ursprünglich propagierter Freiraum ist mittlerweile ein Freiraum für zunehmend schwerer zu regulierende Herrschaftsformen von Unternehmen und politischen Akteuren geworden.

Das von HEYDORN postulierte Spannungsfeld von Bildung und Herrschaft zeigt sich darüber hinaus auch mit Blick auf Bildungsinitiativen, wie sie im Strategiepapier der Kultusministerkonferenz *Bildung in der digitalen Welt* zum Ausdruck kommen. So lassen beispielsweise die darin im Wesentlichen auf *Employability* gerichteten Kompetenzanforderungen (vgl. KMK 2017, S. 16–19; Dander 2018, S. 267) unausgesprochen, wie genau „Bildung in der digitalen Welt“ mit „bestehenden wirtschaftlichen Verwertungslogiken sowie den administrativ angelegten Optimierungs- und Standardisierungstendenzen“ (Verständig 2022, S. 24) in Verbindung steht. Sichtbar wird dieses Spannungsfeld auch in den jüngsten Diskussionen zur Bedeutung Künstlicher Intelligenz für Bildungskontexte. So erläutert Harald GAPSKI (2021) im Kontext des Projekts *Digitales Deutschland*, dass Künstliche Intelligenz in ökonomischer Perspektive vor allem für einen globalen Wettbewerbsfaktor zwischen USA, China und Europa stehe, auf den die wirtschaftlichen und politischen Akteure mit entsprechenden strategischen Bildungsinitiativen und -programmen antworten. Das gilt auch für die auf „vertrauenswürdige KI“ setzende euro-

päische Strategie, die sich von den amerikanischen Strategien („Daten sind das neue Öl“) und den chinesischen („Komplettüberwachung“) als „menschenzentriert“ und „ethisch“ abzusetzen versucht (ebd., o. S.). Jedoch stehen auch in der europäischen Strategie vor allem „technologieorientierte und berufsqualifizierende Dimensionen und auf Seiten der anwendenden oder betroffenen Bürgerinnen und Bürger Sensibilisierungs- und Akzeptanzfaktoren im Vordergrund“ (ebd., o. S.). Im Weissbuch der EU-Kommission *Zur Künstlichen Intelligenz – ein europäisches Konzept für Exzellenz und Vertrauen*, das GAPSKI in seinem Beitrag zitiert, heißt es, dass „Vertrauenswürdigkeit“ der KI-Techniken eine „Voraussetzung für ihre Akzeptanz“ sei, letztere jedoch eine „Chance“ für Europa, „Spitzenprodukte und -dienstleistungen anzubieten“ (Europäische Kommission 2020, S. 1). Priorität komme dabei der „Vermittlung der Kompetenzen [zu], die für die Arbeit im KI-Bereich notwendig sind, und die Weiterqualifizierung der Arbeitskräfte, um sie für den durch die Entwicklungen im Bereich der KI angestoßenen Wandel zu rüsten“ (ebd., S. 7). Die Fokussierung auf den Wettbewerbsvorteil und den ökonomischen Verwertungscharakter einer technisch ‚gebildeten‘ Bevölkerung ist hier auch in der ‚ethisch-kritischen‘ europäischen Perspektive deutlich herauszulesen.

Welcher Art sind nun aber nach HEYDORN die *emanzipatorischen* Möglichkeiten von Bildung vor dem Hintergrund ihrer Verstrickung in Herrschaftsverhältnisse? HEYDORN sucht „unter den spezifisch historischen Bedingungen der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nach Möglichkeiten von emanzipatorischer Praxis“ (Bünger 2009, S. 181). Als mögliche Perspektive setzt er dabei auf die „Selbstkritik“ der Bildung (ebd., S. 181), die durch das *Bewusstwerden* ebenjenes Zusammenhangs von Bildung und Herrschaft möglich wird: „Bildung ist Revolution des Bewußtseins“, aufzudecken sei dabei „der Widerspruch [...], mit dem sich die Bildung als Herrschaftsverfassung gegen sich selber wendet“, schreibt HEYDORN (Heydorn 2004c, S. 300). Gegenstand von Bildungsprozessen müsse dabei die Reflexion der „Verstrickung der Bildung in Herrschaft“ sein, mit dem Ziel, darin Möglichkeiten ihrer Überschreitung zu identifizieren (Bünger 2009, S. 181). Eine solche selbstkritische, politische Bildungsverfassung mache „die Freiheit des Menschen unter Zwängen offenbar, die sie in das Bewußtsein (sic!) einholt“ (Heydorn 2004a, S. 234). Deutlich wird, dass Emanzipationsmöglichkeiten vor dem Hintergrund der Verstrickung von Bildung und Herrschaft einzig in „dialektischen Vermittlungen“ zu finden sind. Für die Frage nach der Emanzipation bzw. Freiheit bedeutet dies, dass Emanzipationsbemühungen der „Vermittlung mit der konkreten herrschaftlichen Verfasstheit der Wirklichkeit“ (Bünger 2009, S. 183) bedürfen, also Ankündigungsmöglichkeiten *innerhalb* bestehender Herrschaftsverhältnisse zu suchen sind. Dieser Widerspruch lasse sich HEYDORN zufolge nicht auflösen, sondern muss „ausgehalten werden“, denn „Aneignung und Befreiung sind aufeinander verwiesen“ (Heydorn 2004b, S. 140, 2004c, S. 284). Das *Explizieren von Widersprüchen* dient dabei als „methodisches Werkzeug“, mit dem das Verhältnis von Überschreitung und Verstrickung von Bildungsbemühungen analysiert werden könne, denn durch „die Analyse von Widersprüchen findet HEYDORN dort Möglichkeiten, wo andere diese resignativ übersehen; umgekehrt weist er Herrschaftsformen in

den Tendenzen nach, die andere für progressiv halten“ (Bünger 2009, S. 185). Emanzipation bedeutet für HEYDORN die Möglichkeit, „Widerspruch einzulegen“, und damit die „im herrschenden Trend angelegten Möglichkeiten wahrzunehmen, den Trend [aber] nicht in Herrschaft aufgehen zu lassen“ (ebd., S. 186). Vielmehr gilt es, „Verstrickung und Überschreitung produktiv werden zu lassen“ und das heißt, „den irritierenden Nachweis der Verstrickung im Namen der Überschreitung zu formulieren“ (ebd., S. 188).

An die bildungskritischen Reflexionen HEYDORNS anknüpfend geht es daher bei der Suche nach Orientierungsmöglichkeiten ‚in der digitalen Welt‘ nicht um Grenzziehungen, etwa in der Suche nach möglichen Schutzräumen vor der digitalen Technik oder aber darum, Möglichkeiten von Freiheit gegenüber der Technik auszuloten. Vielmehr geht es im Anschluss an HEYDORN um die Suche nach Freiheiten in bzw. innerhalb digitaltechnisch strukturierter Verhältnisse (vgl. Euler 1999, S. 175 f.) und davon abstrahiert auch um die Suche nach Freiheit(en) im Sinne möglicher Gestaltungsräume innerhalb digitaltechnischer Strukturen selbst. Wie bereits argumentiert, bietet die digitale Technik aufgrund ihrer Flexibilität und inhärenten Offenheit Möglichkeiten einer *immanenten* Auseinandersetzung mit ihr. Als Experimentalraum ermöglicht sie die „produktive Verwicklung“ (Allert/Asmussen 2017, S. 27 f.) von Mensch und Technik, durch die der von BÜNGER postulierte „Nachweis der Verstrickung im Namen der Überschreitung“ (Bünger 2009, S. 188) einholbar wird. Bevor diesem Gedanken weiter nachgegangen werden kann, sollen bezüglich der Frage nach Orientierungsmöglichkeiten noch einige Anknüpfungspunkte an die in Deutschland eingehend geführte Debatte zur „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK 2017) genüpft werden, in der wesentliche Eckpfeiler zur Frage nach Orientierungsmöglichkeiten insbesondere in formalen Bildungskontexten diskutiert worden sind. Welche Anschlüsse ergeben sich hierbei an die zuvor entfaltete Epistemologie digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit?

6.1.2 Von der Kompetenz zur reflektierten Sachkompetenz

Die in dieser Studie vorgenommene Analyse digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit zeigte mitunter, dass Forschung mittels digitaler Technik in der Regel verbunden ist mit der Erforschung der Technik selbst. In diesem Wechselverhältnis von Technik als *Mittel* und *Erkenntnisobjekt* entsteht so etwas wie „erworbene Intuition“ (Rheinberger 2006, S. 93) als „Ergebnis eines intimen Zusammenspiels“ (Ahrens 2014, S. 211) mit der Technik, bei dem Wissenschaffende ein Gespür „für Überraschungen und Abweichungen“ (ebd., S. 193) entwickeln. Davon ausgehend ist in der folgenden bildungsorientierten Reflexion vor allem die *pragmatische* Theorieposition von Relevanz, auf deren Grundlage unter Rückgriff auf den Begriff der *Erfahrung* Möglichkeiten einer solchen Verknüpfung von Technik als *Mittel* und *Bildungsgegenstand* aufgezeigt werden.

Auch bildungspolitisch ist eine solche Integration digitaler Medien als Mittel und Bildungsgegenstand durchaus gewollt: So fordert die Kultusministerkonferenz (KMK) in ihrer Strategie eine *fächerintegrative* Umsetzung entsprechender Bildungsmöglichkeiten (vgl. KMK 2017, S. 12). Was heißt das aber nichts anderes, als dass Lehrende, die digitale Medien gemäß ihrer fachspezifischen und fachdidaktischen Ausbildung in einer *fach-*

spezifischen und bestenfalls *mediendidaktisch* versierten Weise zur Verbesserung des eigenen Unterrichts einzusetzen verstehen, zudem auch dafür Sorge zu tragen haben, dass Schülerinnen und Schüler neben dem Erwerb fachspezifischer Kompetenzen auch *medien- und technikspezifische* Kompetenzen entwickeln können, bestenfalls in Unterricht und Lehre sogar eine kritische Reflexion über die digitalen Medien stattfinden kann. Lehrende sollen nicht nur digitale Medien als *Mittel* didaktisch versiert zur Unterstützung des eigenen Fachunterrichts oder in der Lehre einsetzen können, sondern auch über das entsprechende medien- und technikspezifische sowie medienpädagogische Wissen und Können verfügen (vgl. u. a. Blömeke 2000), das es ihnen ermöglicht, digitale Medien und Technik auch als *Bildungsgegenstand* zu adressieren. Wie ist das aber möglich, wenn im Rahmen der Lehrerinnen- und Lehrerbildung an deutschen Hochschulen nach wie vor insbesondere die *fach- bzw. domänenspezifische* Ausbildung gefördert wird und die damit verbundene *medien- und technikspezifische Bildung* im Hintergrund verbleibt (vgl. Knaus 2019, S. 17; Knaus/Meister/Tulodziecki 2017, S. 8)?

Die Integration beider Perspektiven – Technik als *Mittel* zur Förderung von Lehr-Lernprozessen und Technik als *Bildungsgegenstand* – scheitert also nicht selten daran, dass es gerade Lehrenden mit Blick auf ihre schwerpunktmäßig fachdidaktische Ausbildung und der nach wie vor ungenügenden medien- und technikorientierten Bildung schwer fallen dürfte, Anknüpfungspunkte für eine Medien- und Technikreflexion zum eigenen Fach und damit ein *gemeinsames Erkenntnisinteresse* zwischen digitalen Medien als Mittel und digitalen Medien als *Bildungsgegenstand* selbstständig zu entwickeln. Das liegt möglicherweise auch daran, dass in der pädagogischen bzw. erziehungswissenschaftlichen Annäherung an die Forderungen einer „Bildung in der digitalen Welt“ bisher keine systematischen bzw. strukturellen Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen (digitaltechnischen) Medien als *Mitteln* pädagogischen und didaktischen Handelns und (digitalen) Medien als Wissensobjekt und *Reflexionsgegenstand* hergestellt wurden. Diesbezüglich scheint es auch kontraproduktiv, dass auch die mediapädagogische Diskussion eine – aus forschungssystematischer Sicht sinnvolle – Fragmentierung der Beschreibungen pädagogischer Bezugspunkte zum Feld der (digitalen) Medien erkennen lässt. So gibt es zum einen den zentralen Bezugspunkt der Medien als Mittel der Förderung von Lehr- und Lernprozessen, der in der Regel im Kontext der *Mediendidaktik* unter der Bezeichnung „Lernen mit Medien“ verortet wird (Tulodziecki/Herzig/Grafe 2019, S. 85–150). Auf der anderen Seite, jedoch weitgehend getrennt von den mediendidaktischen Fragestellungen, erhält der Bezugspunkt der Medienerziehung und der Medienbildung mit dem Ziel der Förderung *medienspezifischer* Kompetenzen unter dem Schlagwort „Lernen über Medien“ an Aufmerksamkeit (ebd., S. 151–214).

Auch die Kompetenzbeschreibungen, wie sie dem Kompetenzkatalog der KMK-Strategie aus dem Jahr 2016 zugrundeliegen (vgl. KMK 2017, S. 16–19), können die hier als notwendig postulierte Verbindung zwischen mittel- und handlungsbezogenen Dimensionen auf der einen Seite und den reflexionsbezogenen Dimensionen einer „Bildung in der digitalen Welt“ nicht gänzlich einlösen. So attestieren die Autorinnen und Autoren der Initiative *Keine Bildung ohne Medien* in ihrer Stellungnahme (Kommer et al. 2016, o. S.)

zum Strategiepapier der Kultusministerkonferenz, dass das darin vorgeschlagene Kompetenzmodell aufgrund der Fokussierung auf *Employability* (Technik als Mittel beruflichen Handelns) bei gleichzeitiger Vernachlässigung reflexionsbezogener Dimensionen und eines medien- und technikspezifischen Orientierungswissens im Hinblick auf den im Titel des Strategiepapiers postulierten Bildungsbegriff unzureichend ist (vgl. ebd., o. S.). Zu überdenken sei bei Überlegungen zur Formulierung von Kompetenzen, die in einer digitalen Welt benötigt werden, auch die Reflexion der Medien und Techniken selbst. Dazu sei auch der dem Strategiepapier unterliegende Bildungsbegriff zu überdenken, der nicht funktionalistisch im Sinne der Berufsvorbereitung zu vereinnahmen sei, sondern einen Fokus auf *Orientierungswissen* legen müsse (vgl. ebd., o. S.). Entgegen dem Vorwurf, der Kompetenzbegriff *selbst* stelle bereits eine instrumentelle Verkürzung des Bildungsbegriffs dar und ziele damit auf bloßes „Verfügungswissen“, pochen TUŁODZIECKI, HERZIG und GRAFE auf die reflexiven Dimensionen des Kompetenzbegriffs selbst. Denn die „Sorge, Medienkompetenz ziele nur auf Verfügungswissen“ (digitale Medien als Mittel) und „vernachlässige Orientierungswissen“ (digitale Medien als Erkenntnisobjekt) werde gerade einer „pädagogischen Auseinandersetzung mit Medienfragen“ nicht gerecht. Auch bei Kompetenz als *pädagogischer Leitkategorie* gehe es stets um die Förderung von *Orientierungswissen* und damit auch die „Fähigkeit, offen für unbestimmte Situationen zu sein“ (Tulodziecki/Herzig/Grafe 2019, S. 192).

In Bezug auf den aktuellen Kompetenzdiskurs zur Frage nach einer „Bildung in der digitalen Welt“ kritisiert Gerhard TUŁOZIECKI allerdings zurecht den fehlenden *lebensweltlichen* Bezug aktueller Kompetenzbeschreibungen, wie sie in den Kompetenzrahmen von DIGCOMP (vgl. Ferrari 2013) oder der Kultusministerkonferenz (vgl. KMK 2017, S. 16–19) veröffentlicht worden sind: Die allgemein formulierten Kompetenzen erscheinen teils „losgelöst von lebensweltlichen Intentionen als ‚bloße‘ Tätigkeiten im ‚digitalen Raum‘“ (Tulodziecki 2023, S. 11). Beispielhaft zeigt TUŁOZIECKI im Hinblick auf den abstrahierten Kompetenzbereich „Suchen“, dass im KMK-Kompetenzkatalog keine Bezüge dazu hergestellt werden, was eigentlich gesucht werden soll. *Suchen* könne sich hier beispielsweise auf die Recherche nach Informationen, aber auch auf die Suche nach Unterhaltungs- und Spielangeboten sowie Dienstleistungen beziehen. Ohne die Herstellung entsprechender Bezüge verliere aber die Beschreibung „Suche“ ihre „didaktische und affektiv-motivationale Bedeutung“. Die KMK-Strategie scheine davon auszugehen, dass entsprechende Bezüge in den Unterrichtsfächern in „hinreichender Form hergestellt werden“ können. Dies ist nach der Einschätzung TUŁODZIECKIS aber „keineswegs gesichert“ (Tulodziecki 2023, S. 11). Diese Einschätzung deutet bereits auf die Problematik von Kompetenzbeschreibungen als allgemein kodifizierte Handlungsempfehlungen: Um umfänglich adaptierbar zu sein, müssen sie ausreichend allgemein – generisch – formuliert sein, überlassen dabei aber die Ausgestaltung, also das Herstellen situativer Bezüge, denjenigen, die in pädagogischen Kontexten für die Förderung dieser Kompetenzen zuständig sind.

Mitchel RESNICK¹¹⁹, Professor of Learning Research am *MIT Media Lab* (media.mit.edu), berichtete in seinem Buch *Lifelong Kindergarten* (2020) über die Schwierigkeiten, die seinerzeit dabei bestanden, das Interesse an der Integration von Projekten mit der Programmiersprache LOGO im schulischen Unterricht aufrecht zu erhalten. Während in den 1980er Jahren Schülerinnen und Schüler in zahlreichen Schulen in die Logo-Programmierung eingeführt wurden, ließ die Begeisterung für die Projekte bald nach, unter anderem auch deswegen, weil „Logo oft im Rahmen von Aktivitäten vorgestellt wurde, die weder die Lehrer noch die Schüler interessierten“. Programmierenlernen wurde vielmehr zum „Selbstzweck“ und erfolgte ohne den Versuch, über entsprechende Programmierprojekte Anbindung an die (Erkenntnis-)Interessen der Lehrenden und Lernenden zu suchen. Ähnliches galt für das unterrichtliche Arbeiten mit Computern: „Es dauerte nicht lange“ und Schulen begannen, Computer lediglich als „Werkzeuge zum Bereitstellen und Zugreifen auf Informationen anzusehen, nicht als Werkzeuge zum selber bauen und kreativen Erschaffen“, so wie es noch leitende Idee des Gründers des LOGO-Projekts, Seymour PAPERT, gewesen war (Resnick 2020, S. 57–59). In Rekurs auf PAPERT argumentiert RESNICK also, dass die schulische Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen solcher Initiativen bedarf, in denen Lernende Ideen für interessengeleitete, lebensweltbezogene Handlungsmöglichkeiten mit digitaler Technik und digitalen Medien erhalten und so *eigene Erfahrungen* mit dieser machen können.

In Bezug auf die im KMK-Strategiepapier angestrebte *fächerintegrative* Förderung der in einer digitalen Welt benötigten Kompetenzen könnte ein lebensweltlicher Bezug für die Lehrenden auch bedeuten zu fragen, was denn das oben diskutierte Kompetenzfeld „Suche“ mit dem jeweils eigenen zu unterrichtenden Fach zu tun hat, welche „Such-Anlässe“ sich beispielsweise im Rahmen des fächerspezifischen Themenspektrums in Deutsch, Mathematik, Biologie, Sport usw. ergeben könnten und wie diese Such-Anlässe sich auch zur medien- und technikspezifischen Kompetenzförderung nutzen lassen. Genauso für die notwendige Verquickung der mittelbezogenen sowie reflexionsbezogenen Dimensionen „digitaler Bildung“ – so in der Schulbildung etwa die Verbindung fach- und mediendidaktischer Fragen mit der Reflexion erkenntnisprägender Eigenschaften der eingesetzten Technik – stehen hier aber noch zu wenige Strategien sowie inhaltliche bzw. lebensweltliche Verknüpfungsmöglichkeiten für Lehrende und Lernende sowie für die Entwicklung von Schulcurricula und Bildungsplänen zur Verfügung.

Eine lebensweltbezogene Handlungsorientierung im Kontext der Kompetenzförderung ist auch zentraler Leitgedanke des für die Medienpädagogik grundlegenden Medienkompetenzmodells von Dieter BAACKE (vgl. u. a. Baacke 1996), in dem Medienhandeln – die Kompetenzbereiche *Mediennutzung* und *Mediengestaltung* – stets auch mit dem Wissen über diese Medien und der Entwicklung eines reflexiven Verhältnisses zu ihnen – die Kompetenzbereiche *Medienkritik* und *Medienkunde* – verbunden ist. Im Kontext seiner

¹¹⁹ Mitchel RESNICK arbeitet seit 30 Jahren in Projekten in Kooperation mit der Spielzeugfirma LEGO, so haben er und sein Team beispielsweise das LEGO Mindstorms Robotik-Kit entwickelt. Er leitet außerdem das Team, das die Programmiersprache *Scratch* entwickelt hat.

Kritik an der Fragmentierung der Kompetenzbeschreibung der KMK-Strategie verweist Gerhard TUŁODZIECKI auch auf das von BAACKE geprägte Leitbild der Medienkompetenz. Zu kritisieren sei hier jedoch, dass Reflexion und Medienhandeln im BAACKE'schen Modell zwar Eingang in ein gemeinsames Modell gefunden haben, die einzelnen Medienkompetenzdimensionen in ihrer „Ausdifferenzierung“ (Tulodziecki 2023, S. 9) aber keine strukturelle Verknüpfung erfahren haben, so dass das Modell suggeriere, Reflexion und Medienhandeln seien voneinander separierbare Dimensionen von Medienkompetenz. Die von BAACKE vorgenommene Ausdifferenzierung in vier ‚diskrete‘ Kompetenzbereiche ist hier insofern problematisch, als dass das aus pädagogischer Sicht untrennbare *Wechselverhältnis* von Medienhandeln mit den reflexiven Dimensionen eines medienkundlichen Wissens und Könnens, der Analyse- und Kritikfähigkeit sowie der Fähigkeit einer ethischen Einordnung dabei verloren gehen (vgl. ebd., S. 9; vgl. auch Knaus/Merz/Junge 2023, S. 4 f.).

Eine Verknüpfung von Reflexion und Handeln oder auch „Aktion“ und „Reflexion“ (Knaus/Schmidt/Merz 2023, S. 1) wäre aus pädagogisch-handlungsorientierter Sicht jedoch zentrale Voraussetzung für die Möglichkeit einer *pädagogisch* orientierten Kompetenzförderung. In diesem Zusammenhang kritisiert TUŁODZIECKI am Kompetenzmodell der KMK, dass auch dort „Analysieren und Reflektieren“ weitgehend als eigenständiger Kompetenzbereich gegenüber den schwerpunktmäßig auf eine „funktionale bzw. auf sachgerechte Anwendung“ gerichteten übrigen Kompetenzbeschreibungen aufgeführt wird. Reflexive Fähigkeiten stünden so aber in der Gefahr, lediglich eine „Alibi-Funktion“ zu erhalten (Tulodziecki 2023, S. 11). Peter EULER (1999) – auf dessen Konzept der „reflektierten Sachkompetenz“ ich im Verlauf dieses Abschnitts noch eingehen – spricht in diesem Kontext auch von der tradierten Aufteilung technisch-naturwissenschaftlichen Denkens und reflexiv-geisteswissenschaftlichen Denkens in die Sphären von Zweck und Mittel, wie in Abschnitt 2.1 bereits im Kontext der Problematisierung der Vorstellung von *Technik als Mittel* skizziert wurde. Unterschieden werden dabei solche Kulturbereiche, die durch „Zweckkompetenzen“ und solche, die durch „Mittelkompetenzen“ bestimmt sind (Euler 1999, S. 15). Diese im Wesentlichen im bildungsbürgerlichen Denken etablierte Aufteilung von Kulturbereichen in Zweck- und Mittelkompetenzen ist Grundlage für eine Denkweise, die Reflexion als bildungsbezogenen ‚Wert‘ zwar zum wesentlichen Teil von Bildung erklärt, diese aber stets losgelöst von den Mittel- und damit Handlungskompetenzen technisch-naturwissenschaftlicher *Weltgestaltung* denkt und damit Kritik an dieser auch stets nur von der Position des außenstehenden Beobachters formuliert. *Reflektierte Sachkompetenz*, wie noch zu zeigen ist, zeigt sich dagegen im „mehrdimensionale[n] Verstehen des eigenen Fachs“ (ebd., S. 326), ein Verstehen, das auch die technisch-technologische Bedingtheit der jeweils *eigenen* Wissensdomäne berücksichtigt (s. u.).

An dieser Stelle ist zunächst zu konstatieren, dass aus Sicht eines *pädagogischen* Handlungsbegriffs die Reflexion – hier: über Medien und ihre technischen Bedingungen – vielmehr „konsequent“ in alle „handlungsbezogenen“ Bereiche zu integrieren ist (Tulodziecki 2023, S. 11). In der Terminologie dieser Studie könnte hier auch argumen-

tiert werden, dass aus pädagogischer Sicht stets eine sinnvolle Verknüpfung zwischen Medien und Technik als Handlungsmittel (Handlungsbezug) und Medien und Technik als Wissensobjekt und Erkenntnisgegenstand (Reflexionsbezug) herzustellen ist. Einer pädagogischen Handlungstheorie angemessen wäre also eine Sichtweise, die das für einander konstitutive Verhältnis von *Handeln* mit Medien und Technik und die *Reflexion* über die technischen und medialen Bedingungen des Handelns in ein für die Lernenden sinnvolles Verhältnis zu bringen vermag. TUŁOZIECKI zufolge muss in einer pädagogischen Handlungstheorie „Reflexion als inhärentes Merkmal von Handeln“ gelten und nicht lediglich als „„äußerer Blick‘ auf Handeln“ (Knaus/Tulodziecki 2023, S. 15).

Medienkompetenz wie auch digitalisierungsbezogene Kompetenzen sind also aus pädagogischer Perspektive als eine Form des *reflexiven Handlungsvermögens* zu denken, das pädagogisch gefördert werden kann, indem Lernenden Anlässe geboten werden, den Einsatz von Technik bzw. digitalen Medien als Mittel in eigenen Handlungs- und Interessenskontexten und als Bildungsgegenstand reflexiv zusammenzubringen. Dafür sind allerdings *integrative* Perspektiven notwendig, die es vermögen, Technik und technische Medien sowohl als *handlungsleitende Mittel* als auch als *Reflexionsgegenstände* strukturell zu verknüpfen, denn nur so lässt sich die insbesondere in der mediapädagogischen Reflexion zentrale Zielvorstellung des *sachgerechten, selbstbestimmten, kreativen und sozial verantwortlichen Handelns* (vgl. Tulodziecki 2011, S. 23) mit digitaltechnikbasierten Medien verwirklichen. Erst, wenn Subjekte eine reflexive Verbindung zwischen dem eigenen Handeln, den dabei zum Zuge kommenden technischen Funktionsweisen sowie daraus hervorgehender Resultate und Artefakte herstellen, können sie ihr Handeln mit digitaltechnikbasierten Medien selbst bestimmen, sachgemäß und kreativ durchführen und schließlich auch verantworten.

Die Verknüpfung der beiden bildungsorientierten Dimensionen auf Technik als Handlungsmittel und Bildungsgegenstand wird vor dem Hintergrund technischer Intransparenzen und Opazität allerdings erschwert. Sie wird auch deshalb erschwert, da viele digitaltechnische Systeme, Objekte und Medien als Expertensysteme zum Einsatz kommen, deren Funktionieren ja gerade nicht von der reflexiven Bezugnahme der Nutzenden abhängt: Über sie kann verfügt werden, *ohne* ihre inneren Funktionsweisen verstehen zu müssen (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Ziel der folgenden bildungsorientierten Reflexion und Einordnung der zuvor entfalteten Epistemologie digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit ist es, Orientierungsmöglichkeiten im Sinne der Entwicklung eines *reflexiven Handlungsvermögens* innerhalb digitaler Strukturen näher zu bestimmen: Wie erhalten Menschen, die digitale Technik selbstverständlich als Mittel zur Erreichung eigener Ziele einsetzen – sei es die Erforschung eines wissenschaftlichen Erkenntnisgegenstands oder aber die Verbesserung und Organisation des eigenen Unterrichts sowie des eigenen Lernprozesses – zugleich die Möglichkeit, ein reflexives Verhältnis zur Technik zu entwickeln? Hilfreich für eine *integrative Sichtweise*, die Handeln und Reflexion zusammendenkt, ist, so meine noch zu begründende Annahme, die Berücksichtigung der Ambivalenz digitaler Technik zwischen zwar handlungsleitender, jedoch interpretativ flexibler und inhärent offener Struktur. Digitale Tech-

nik ist *begrenzte Vielfalt*, in der Orientierungsmöglichkeiten im Spannungsfeld von Begrenzungen und Handlungsmöglichkeiten zu finden sind, Mensch und Technik sich tentativ ‚aufeinander einstellen‘ können und Menschen durch den Zugewinn an *Erfahrung* ein technisches ‚Gespür‘ entwickeln können, das auch dann tragen kann, wenn Teilbereiche technischer Funktionsweisen kognitiv unzugänglich bleiben.

Integrative Orientierungsmodelle

Soll digitale Technik als Mittel in situativen, interessengeleiteten Handlungskontexten reflektierbar werden, so sind aufgrund der darin involvierten technik- und medienspezifischen, fach- und domänen spezifischen sowie lebensweltlich orientierten Handlungs- und Wissensdimensionen integrative und multiperspektivische Ansätze erforderlich. Dabei handelt es sich vor allem um solche, die in der Lage sind, fach- und domänen spezifische Erkenntnisinteressen mit den medien- und technikspezifischen Dimensionen eines Wissens und Könnens „in der digitalen Welt“ zu verbinden.

Multiperspektivische Bezüge auf Medien und Technik, die das Lernen *über* und Handlungsmöglichkeiten *mit* technikbasierten Medien strukturell zu verknüpfen suchen, haben auch Eingang in den medienpädagogischen Diskurs gefunden. Die Reflexionsmodelle *Dagstuhl-Dreieck* (vgl. GI 2016) und *Frankfurt Dreieck* (vgl. Brinda et al. 2020), die bereits im Problemaufriss dieser Studie (vgl. Abschnitt 1.3) Erwähnung fanden und an deren Genese sich Fachwissenschaftlerinnen und Fachwissenschaftler der Informatik, Medienwissenschaften und Medienpädagogik beteiligt hatten, zeichnen sich vor allem durch ihre integrativen Bezüge auf digitale Medien bzw. digitale Technik als technische *und* epistemische Dinge aus. So repräsentiert und visualisiert das Dagstuhl-Dreieck die strukturelle Verschränkung der Anwendungsperspektive („Wie nutze ich das?“) mit Anforderungen der Reflexion ihrer technologischen („Wie funktioniert das?“) sowie gesellschaftlich-kulturellen Bedingtheit („Wie wirkt das?“) (GI 2016, S. 3). Gegenüber dem Dagstuhl-Dreieck differenziert das Frankfurt-Dreieck die multiperspektivische Sichtweise auf eine „Bildung in der digitalen Welt“ noch weiter aus. In diesem Reflexionsmodell werden die Perspektiven der technologisch-medialen Strukturen, der gesellschaftlich-kulturellen Wechselwirkungen und der Interaktionsperspektive jeweils mit dem Dreiklang der mit diesen Dimensionen verbundenen Prozesse der „Analyse“, „Reflexion“ und „Gestaltung“ verschränkt (Brinda et al. 2020, S. 159 f.). Wenn auch nicht explizit formuliert, schwingt auch in diesem Modell die Frage nach der Verschränkung von Technik als Mittel (subjektive Interaktions- und Handlungsperspektive) und Technik als Wissens- und Erkenntnisobjekt (die Reflexion über ihre technisch-technologischen und gesellschaftlich-kulturellen Bedingungen) implizit mit.

Integrativer Sichtweisen im Kontext der Lehrerinnen- und Lehrerbildung wurden in den letzten Jahren zunächst außerhalb einer genuin medienpädagogischen Perspektive in den Kompetenzdiskurs eingeführt, darunter im Modell des *Technological, Pedagogical and Content Knowledge*, das unter der Abkürzung TPACK bekannt wurde (vgl. Koehler/Mishra/Cain 2013; Mishra/Koehler 2006). Das Modell betont die Notwendigkeit für Lehrende bzw. angehende Lehrende, sich das benötigte pädagogisch-didaktische („Pedago-

gical Knowledge”), fachspezifische („Content Knowledge“) und technikspezifische Wissen („Technological Knowledge“) auf eine integrative Art und Weise anzueignen. Zum geforderten Wissenskomplex gehören dabei nicht nur fachspezifische Inhalte bezüglich des zu unterrichtenden bzw. lehrendes Fachs, allgemeines pädagogisches und didaktisches Wissen sowie ein spezifisch auf das eigene Fach ausgerichtetes pädagogisches und fachdidaktisches Wissen („Pedagogical Content Knowledge“), sondern auch ein technikbezogenes Wissen. Letzteres konstituiert sich dabei vor allem durch seine „Schnittstellen zu allen anderen Wissensbereichen“ (Schmid/Petko 2020, S. 126). Technikbezogene Kompetenzen werden in dem Modell also nicht als separater Kompetenzbereich modelliert, sondern zeichnen sich durch ihre *immanente Verknüpfung* mit anderen pädagogischen, didaktischen und fachspezifischen Kompetenzanforderungen aus: Technisches Wissen bzw. technische Kompetenzen von Lehrenden beinhalten in diesem Kontext sowohl ein „Technological Content Knowledge“, und damit das Wissen um die Bedeutung technischer Mittel für schulische Lerninhalte, als auch ein „Technological Pedagogical Knowledge“, und damit ein Wissen um die Bedeutung technischer Mittel für pädagogische und didaktische Problemstellungen, sowie „Technological Pedagogical Content Knowledge“ als technikspezifischer Bezug zu pädagogischen und didaktischen Fragen im Hinblick auf spezifische Lerninhalte (ebd., S. 126).

Die im TPACK-Modell zum Ausdruck kommenden Kompetenzanforderungen an Lehrerinnen und Lehrer können in der Terminologie dieser Studie so zusammengefasst werden, dass Lehrende in der Lage sein sollen, Technik als *Strukturmerkmal* der jeweils eigenen Wissens- und Fachdomäne – also in Bezug auf pädagogische, didaktische und fachspezifische Aspekte – identifizieren zu können. SCHMID und PETKO attestieren dem TPACK-Modell daher eine Nähe zum medienpädagogischen Konzept der Medienkompetenz, und zwar als eine Art um das „technologische Wissen“ erweiterte Form eines mehrperspektivischen Konzepts von Medienkompetenz. Das damit verbundene Wissen und Können ist nicht nur „funktional“ oder „anwendungsbezogen“, sondern „umfasst konzeptionelles Wissen zu verschiedenen relevanten Medien und Technologien“, darunter auch „Grundkonzepte der Medienwissenschaft und solche der Informatik“. Es soll – wie auch das Leitbild der Medienkompetenz – nicht nur zur „zielgerichteten Anwendung relevanter Medien und Technologien“ befähigen, sondern auch zur „verantwortungsvollen Partizipation, zur Mitgestaltung und zur Kritik“ (Schmid/Petko 2020, S. 129). Aus Sicht der Autorin und des Autors eignet sich das TPACK-Modell als Modell einer fächerintegrativen schulischen Medienbildung, die auch die technisch-technologischen Aspekte digitaler Medien mit einbezieht (vgl. ebd., S. 129).

Für die hiesige Analyse interessiert dabei aber vor allem die im TPACK-Modell vorge sehene *integrative Form* der Kompetenzförderung sowie der Technikreflexion. Insofern in dem Modell das Bewusstmachen der Bedeutung der (digitalen) Technik für *alle* Aspekte der jeweils eigenen Wissensdomäne oder des jeweils eigenen Handlungskontexts – hier von Lehrenden – im Vordergrund steht, zielt es exemplarisch auf die Idee eines reflexiven, mit den jeweils eigenen Erkenntnisinteressen gekoppelten, Handlungsvermögens „in der digitalen Welt“. Im TPACK-Modell wird der integrative Ansatz vor allem

in den zahlreichen „hybriden Schnittmengen“ sichtbar. So meint in der von der Autorin und dem Autor vorgenommen Analogisierung zum Medienkompetenzbegriff „*Technologiebezogenes pädagogisches Wissen*“ nicht mehr ausschließlich mediendidaktisches Wissen, sondern stets auch „medienerzieherisches und medienbildnerisches Wissen“, während ein „*Technologiebezogenes fachliches Wissen*“ ein Wissen darüber meint, „bei welchen fachlichen Unterrichtsinhalten [auch] Themen der Medienerziehung und Medienbildung“ bedeutsam sein können (Schmid/Petko 2020, S. 129; H. i. O.). Konkret geht es gerade im Hinblick auf eine „Bildung in der digitalen Welt“ vor allem darum, die digitale Technik als das jeweils *eigene Problem* einer Wissensdomäne oder eines lebensweltspezifischen Kontexts anzuerkennen und *Schnittmengen* zwischen der technischen Prägung und domänen- bzw. lebensweltspezifischen Prägung des jeweiligen Kontexts zu identifizieren.

Reflektierte Sachkompetenz

Integrative Sichtweisen auf die Frage nach der Förderung technik- und medienbezogener bzw. digitalisierungsbezogener Kompetenzen zeigen auch eine Nähe zum *Bildungsgriff*, insofern sie die in den Kompetenzbereich involvierten Bezüge in ein reflexives Verhältnis zueinander zu stellen suchen. Eine solche integrative Perspektive verbunden mit einem entsprechenden Bildungsanspruch hat auch Peter EULER in *Technologie und Urteilskraft* (1999) entworfen. Ausgangspunkt von EULERS Analyse, wie zu Anfang der vorliegenden Studie bereits erwähnt, ist die These, dass der umfassende gesellschaftliche und kulturelle Durchdringungscharakter der Technik (vgl. Euler 1999, S. 170) eine „prinzipielle Zäsur in der Bildungsgeschichte der Menschheit“ (ebd., S. 19) markiert und dabei zur Hinfälligkeit bisher beanspruchter „Kriterien des Urteilens“ (ebd., S. 8) führt. Vor dem Hintergrund seiner Diagnose von Technologie als gesellschafts- und kulturformrendes Allgemeines zieht EULER Konsequenzen für die Möglichkeit der Adressierung von Technik als Bildungsgegenstand (vgl. Abschnitt 2.1). So argumentiert er u. a., dass der „Delegationsgedanke[...]“ in der Technikfolgenabschätzung, und damit die Möglichkeit, eine Reflexion möglicher Folgen technischen Handelns an eigens dafür zuständige Instanzen zu delegieren, dem Durchdringungscharakter der Technik kaum entsprechen kann (Euler 1999, S. 159). Ein umfassendes Nachdenken über Technik und deren gesellschaftliche und kulturelle Bedeutung ist damit nicht an gesonderte ‚Reflexionsinstanzen‘ zu delegieren, sondern jeweils domänen spezifisch und kontextbezogen vorzunehmen. Zugleich ist aber eine technikbezogene Selbstreflexion in den einzelnen Wissensdomänen – EULER kapriziert sich auf die universitären Fachdisziplinen – nicht nur über ein bloß *additives Hinzufügen ‚technischer Inhalte‘* in die Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern möglich (vgl. ebd., S. 326). Vielmehr müsse Technik als Technologie, und damit als ein gesellschaftlich und kulturell prägendes Allgemeines, in allen Bildungskontexten als *intrinsisches* und damit *eigenes Problem* aller Wissensdomänen und Bildungskontexte begriffen werden.

Dazu passt es, dass Michael KERRES in seiner Kritik der KMK-Strategie (2017) darauf verweist, dass mit der Durchdringung unserer Lebenswelt mit digitaler Technik nicht einfach nur die Notwendigkeit für die Menschen entstehe, eine zusätzliche ‚digitale‘ Kultur-

technik zu erwerben, die den klassischen Kulturtechniken des Lesens, Schreibens und Rechnens additiv hinzuzufügen ist. Vielmehr werde deutlich, dass digitale Technik alle bisherigen Kulturtechniken *durchdringt* (vgl. Kerres 2020, S. 15). Für den Kompetenzdiskurs fordert auch KERRES eine *integrale* Sichtweise, die den Durchdringungscharakter der Technik durch alle zu erwerbenden Wissensdomänen, Kompetenzfelder und Kulturtechniken immanent berücksichtigt.

Seinen Ansatz einer *immanenteren* Technikkritik entfaltet EULER dabei in seinem Konzept der *reflektierten Sachkompetenz*, dem er in Auseinandersetzung mit Immanuel KANTS Begriff der *reflektierenden Urteilskraft* entwickelt (vgl. Euler 1999, S. 241–243). Dabei geht es EULER darum, *Sache* – und damit meint er vor allem das heute gesellschaftlich bestimmende *wissenschaftlich-technische Sachurteil* (ebd., S. 275; H. i. O.) – und *Reflexion* der Sache nicht mehr zwei getrennten Sphären zuzuordnen und im Sinne der „zwei Kulturen“ auch als formal und disziplinär unvermittelbare Denk- und Urteilsprozesse zu betrachten (vgl. Snow 1961). Vielmehr müssten die „zwei Kulturen“ das „vermeintlich Andere[...]“ als jeweils immanenten Bezugspunkt anerkennen, das heißt also *naturwissenschaftlich-technische Domänen* sind aufgerufen, ihre „immanente Beziehung zu [...] Geschichte und Gesellschaft“ zu reflektieren, während sich die *Kultur- und Geisteswissenschaften*, die sich traditionellerweise als von Technik distanziert verstehen, „in ihrem technischen Charakter begreifen“ lernen (Euler 1999, S. 124).

Die Idee der reflektierten Sachkompetenz zielt also, wie bereits erwähnt, auf das „mehrdimensionale Verstehen des eigenen Fachs“, dies jedoch nicht lediglich „additiv“ (Euler 1999, S. 326), indem die Einsichten anderer Erkenntnisparadigmen und -logiken von außen und dadurch bezugsfremd hinzugefügt werden, sondern durch Reflexionsprozesse, die die „gesellschaftlichen Implikationen, Funktionen, Folgen und Möglichkeiten“ des jeweils eigenen Handelns und Selbstverständnisses im Blick haben (Euler 2005, S. 64; H. i. O.). Eine solche nach dem HUMBOLDT'schen Ideal einer ganzheitlichen Bildung und Wissenschaft ausgerichtete Perspektive ist insofern erforderlich, als dass sie „Wissenschafts- und Technologiekritik mit der Beantwortung von Zukunftsfragen und d.h. mit Neuentwürfen von Weltgestaltung“ verbinden kann (Euler 1999, S. 312). Im Zusammenhang reflektierter Sachkompetenz geht es zunächst also um das „Verstehen“ der *eigenen Disziplin* – und zwar nicht im formalisierten Sinne eines Lernens und Befolgens der jeweiligen disziplinären ‚Regeln‘, Handlungs- und Denkroutinen, sondern im bildungs- und orientierungsbewussten Sinne eines Erkennens der *auch technologisch* bedingten Strukturen des eigenen disziplinär bzw. fachlich verorteten Denkens und Handelns: „*Sachhaltigkeit der Reflexion und Reflexion der Sacheurteile selbst* sollen damit einen Zustand ablösen, der Sache und Reflexion jeweils in das Nebeneinander der Kultursphären von Mittel- und Zweckkompetenz zerfallen lässt (sic!)“. Dabei, so EULER, sei der „pädagogische, ja fast schon fachdidaktisch-pragmatische Charakter der Formulierung [...] durchaus gewollt“, denn „wo immer Bildung organisiert wird, ist gefordert, daß (sic!) das die Gesellschaft bestimmende wissenschaftlich-technische Sachurteil, die Sachkompetenz (das im Kantischen Sinne theoretische und praktische Wissen) in ein immanentes Verhältnis zur Reflexion in diesen Vernunftleistungen gebracht wird“ (Euler 1999, S. 275; H. i. O.).

Die kultur- und gesellschaftsprägende Bedeutung der Technik – also Technik als Technologie – als ein intrinsisches Problem des eigenen Fachs oder der eigenen Wissensdomäne zu reflektieren, ist gerade in den natur- und ingenieurwissenschaftlich orientierten Disziplinen herausfordernd, da ihnen in der Regel geeignete Reflexionsinstrumente fehlen. Technische Zusammenhänge bilden in diesen Disziplinen entweder Entwicklungsgegenstand (beispielsweise der Ingenieurwissenschaften) oder sind technisches Ding (vgl. Rheinberger 2006), das heißt beispielsweise Mittel zur Konstruktion technisch vermittelter Experimentalumgebungen zur Erforschung des domänenpezifischen Forschungsgegenstands. Hier gilt es, Möglichkeiten zu schaffen, die ethischen, ökologischen und sozialen Folgen technischer Entwicklung als das jeweils eigene Problem in Betracht zu ziehen. Zentral für das Studium der Natur- und Ingenieurwissenschaften sei hier EULER zufolge, Technik als „Bildung“ zu verstehen und damit die Ingenieurwissenschaften als „politische und soziale Gestaltungswissenschaften zu begreifen und entsprechend ihr Studium zu organisieren“ (Euler 1999, S. 318).

Hier argumentiert EULER u. a. in Rekurs auf Eugen KOGONs (1976) Schrift *Die Stunde der Ingenieure*, in der KOGON gegen eine „mechanistische und vorwiegend quantitative Betrachtung des Lebens“ dafür plädiert, aus dem „Technisch Machbaren nur das gesellschaftlich Wünschbare“ auszuwählen. Dies setze allerdings einen „neuen Denkstil in einem überfachlichen Problembewusstsein voraus“ (Kogon 1976, S. 6), den EULER als „historische Bildungsaufgabe der Ingenieure“ betont. Als problematisch im Selbstverständnis der Ingenieurwissenschaften sieht EULER, dass Naturwissenschaft hier oftmals als „bloße Grundlage einer dann technischen Anwendung“ (Euler 1999, S. 320) gelte. In dieser fragmentierten „Vorstellung von Grundlage und Anwendung verschwindet [aber] der gestalterische Aspekt von Technik“ (Euler 1999, S. 320) und damit auch ihr weltgestaltender bzw. weltbildender Impetus. Insofern Technikentwicklung heute einen gesellschaftspolitischen Sachverhalt darstelle, stehe nun auch die sozialwissenschaftliche Ausbildung der Ingenieurinnen und Ingenieure zur Debatte – und hier möchte ich in Bezug auf den digitalen Wandel auch ergänzen: der Informatikerinnen und Informatiker. Dies kann aber nicht durch ein bloßes „Hinzufügung einer Portion Sozialwissenschaft“ (ebd., S. 320) zum sonst unverändert bleibenden Ingenieurstudium erfolgen und kann auch nicht durch ein heute nicht unübliches additives, teils auch nicht verpflichtendes, *Studium generale*¹²⁰ erreicht werden. Erforderlich ist vielmehr eine integrative Form einer – hier – technik- und sozialwissenschaftlichen Ausbildung.¹²¹

¹²⁰ Vgl. hier beispielhaft die Angebote der Frankfurt University of Applied Sciences unter frankfurt-university.de/de/studium/interdisziplinares-studium-generale oder die des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) unter zak.kit.edu/studium_generale_und_lehre.php.

¹²¹ Im Zuge einer „Politisierung des Technikproblems“ (Euler 1999, S. 321) in den 1970er Jahren setzte eine politische Kritik ein, die zwar zu „Konsequenzen in der Hochschulausbildung zwang“, andererseits die „Beharrungskräfte noch groß genug waren, die neue Problematik nicht in grundsätzliche Neukonzeptionen des Studiums einmünden zu lassen“ (Euler 1999, S. 323). Ende der 70er Jahre verebbte diese

Im Rahmen der geistes- und kulturwissenschaftlichen Disziplinen, die im Hinblick auf den Gegenstand ihrer eigenen Disziplin eine größere Distanz zur Technik aufweisen, dürfe Technikreflexion bzw. die Berücksichtigung des technischen Sachurteils EULER zu folge nicht aus Sicht des *Anderen* erfolgen, sondern müsse sach- und gegenstandsangemessen bleiben. So stelle eine als „Ideologiekritik“ sich ‚tarnende‘ klassische „Herme-neutik“ keine ausreichende „kritische Instanz“ (Euler 1999, S. 78) dar, wenn sie sich lediglich dichotomisch gegenüber den naturwissenschaftlichen Methoden und positivistischen Verfahren abzugrenzen versucht. Geistes- und Kulturwissenschaften müssen sich EULER zufolge mit den Auswirkungen des Durchdringungscharakters von Technik für *ihr eigenes* Selbstverständnis auseinandersetzen. Übertragen auf den digitalen Wandel und die digitale Technik erfordert der weltgestaltende Impetus (digital)technischer Strukturen auch eine Form der Kritik, die nicht länger in einer ‚binären‘ vom bürgerlichen Denken geprägten Denkweise verhaftet bleibt: Kultur- und Geisteswissenschaften sind vom Durchdringungscharakter der digitalen Technik genauso betroffen wie Natur-, Technik- und Ingenieurwissenschaften und können sich dieser nicht als Unbetroffene nähern.

Hilfreicher Anknüpfungspunkt bildet hier möglicherweise der Blick auf die technische Strukturiertheit ‚klassischer‘ Kulturtechniken. Da digitale Technik vielfach als das Transformatorische schlechthin (vgl. Abschnitt 1.2) und daher als Novum gedeutet wird, wird der *technische Charakter* der tradierten, zur Sphäre der Hochkultur gerechneten Kulturtechniken wie Schrift und Buchdruck häufig vernachlässigt. Auch klassische Kulturtechniken haben Wurzeln, deren technischer Charakter sich kulturgeschichtlich nachverfolgen lässt, womit sich u. a. für die Geisteswissenschaften Anknüpfungsmöglichkeiten einer immanenten, gegenstandsangemessenen Technikreflexion ergeben. So hat Walter ONG, wie bereits erwähnt, im Hinblick auf die Schrift darauf hingewiesen, dass wir, anders als beispielsweise bei der Computertechnik, das Schreiben inzwischen so weit verinnerlicht hätten, dass wir die *Schrift* überhaupt nicht mehr als Technik begreifen (vgl. Ong 2016, S. 76). Dabei begann in der Schrift, was sich heute in der Computertechnik fortsetzt, nämlich die Ablösbarkeit von Worten und Sprache von situativen Lebenszusammenhängen (vgl. Abschnitt 2.2). Eine Rückbesinnung auf die „kulturellen Möglichkeitsbedingungen“ (Jörissen 2016, S. 26) von Technik kann weitere Anknüpfungspunkte für die Reflexion von Technik und digitaler Technik in den geistes- und kulturwissenschaftlich orientierten Wissensdomänen liefern und das Verhältnis von Technik und Kultur in integrativer Weise reflektierbar machen.

Ein Vorbild für ein geisteswissenschaftlich orientiertes Zusammendenken von *Sache* und *Reflexion* ihrer technischen Möglichkeitsbedingungen liefern dabei auch die Digital

Technologiedebatte wieder, aus der Zeit resultierten jedoch kleinere Reformbestrebungen, die nichtfachgebundene bzw. fachübergreifende Studienanteile im Naturwissenschafts- und Ingenieurstudium in geringerem Umfang zu integrieren versuchten. Von größerer Bedeutung als die tatsächlich durchgesetzten Anpassungen in der Studienorganisation war jedoch die damit einhergehende Debatte zur Forderung einer *Allgemeinbildung* für Ingenieurinnen und Ingenieure, mit der die „Einsicht in die gesellschaftspolitische Dimension der Technik bzw. des daraus abgeleiteten Gedankens der moralischen und politischen Verantwortlichkeit der Ingenieure“ (ebd., S. 323) einherging.

Humanities und Digital Sociology. Diese zeichnen sich, wie bereits argumentiert, über ihre in technologisch-methodologischen Diskursen kulminierende Doppelperspektive aus (vgl. Abschnitt 5.3.2), in der versucht wird, einen *gemeinsamen Interessensgrund* für die Bearbeitung technischer und domänenpezifisch-inhaltlicher Fragen zu finden, also dafür, Technik als Mittel und Technik als Wissensobjekt in ein epistemisch fruchtbare Verhältnis zu bringen. So argumentiert beispielsweise Federica FRABETTI in ihrer philosophischen Reflexion der Digital Humanities, dass auch und gerade in den Geisteswissenschaften Potentiale zur Technikreflexion liegen, insofern eine Philosophie der Technik schon immer mit Konzepten von *Wissen*, *Sprache* und *Menschlichkeit* in Zusammenhang standen (vgl. Frabetti 2011, S. 2 f.). In Rückgriff auf Johanna DRUCKER (2009) verweist FRABETTI auf Anknüpfungsmöglichkeiten der Geisteswissenschaften an den Computer als Recheninstrument, wie sie beispielsweise in der Tradition einer *mathesis universalis* einen Ursprung fand, welche die natürliche und mathematisch-logische Sprache in Verbindung zu bringen suchte (vgl. Frabetti 2011, S. 2 f.).

Bildender Unterricht

Für den Schulunterricht hat u. a. Martin WAGENSHEIN die Bedeutung der reflexiven Beziehung zwischen den zu thematisierenden Inhalten, dem ‚Stoff‘, und der Reflexion auf die jeweilige Genesis dieser Inhalte in den Wissenschaften hervorgehoben – eine Position, die er als *bildenden Unterricht* bezeichnete. WAGENSHEIN formulierte in Rekurs auf Theodor LITTS Trias von Subjekt, Methode und Objekt (vgl. Abschnitt 4.1) schon vor Jahren für den Physikunterricht, dass es, soll dieser nicht nur Fachunterricht, sondern bildender Unterricht sein, Schülerinnen und Schülern die *Genese* der als Fachinhalte präsentierten Unterrichtsgegenstände deutlich machen müsse: „Versteht man nämlich den Bildungsprozess so, daß (sic!) ein ergriffenes Ergreifen dazu gehört, das zwischen dem ganzen Subjekt und dem ganzen Objekt die Auseinander-Setzung herbeiführt; bedenkt man, dass wir Physik heute nicht mehr verstehen als die Lehre davon, wie die Natur ‚eigentlich ist‘ [...], sondern als eine Verstehens-Weise und einen aus ihr sich ergebenden Aspekt, der auf einem ganz bestimmten Verhörs-Reglement, einer Methode beruht, mit der die Natur uns erlaubt, sie auszufragen, erkennt man – mit Litt [...] – an, daß diese Methode Subjekt und Objekt erst *erzeugt*, indem sie den Menschen zu dem auf Logik [...] versteiften ‚Beobachter‘, Natur auf das grundsätzlich Meßbare (sic!) verengt, erkennt man dies alles an, so kann man keinen Unterricht bildend nennen, der nicht diese ‚Trias‘ [...] Subjekt-Methode-Objekt immer vor sich sieht, ja, mit zum *Gegenstand* des Unterrichts macht“ (Wagenschein 1999, S. 40; H. i. O.).

In Rekurs auf LITT kam es WAGENSHEIN in seiner Betrachtung wissenschaftlichen Wissens als Unterrichtsgegenstand darauf an, dass Schülerinnen und Schüler dem zu erfassenden Lern- und Bildungsinhalt nicht als einem *finalen Resultat* wissenschaftlicher Auseinandersetzung begegnen, das ihnen im Unterricht als explizier- und lehrbares Produkt einfach ‚vermittelt‘ werden kann, sondern als ein Phänomen, das in seinem ‚Werden‘, seiner Entstehungsgeschichte, und damit u. a. auch seiner methodischen sowie paradigmatischen Dimensionen verankert ist.

matischen Konstruiertheit, zu begreifen ist. In diesem Kontext hat WAGENSCHEIN die Idee der *genetischen Lehre* bzw. *genetischen Didaktik* entfaltet. Diese soll es ermöglichen, dass Lernende auf Ursprung und Genese der Unterrichtsgegenstände reflektieren können, bei WAGENSCHEIN insbesondere mathematische und physikalische Phänomene. Unterricht hat nach dieser Auffassung stets mit dem „Werdenden“ zu tun, und dieses Werden ist daher, in etwa durch sokratische und exemplarische Methoden, zu untersuchen (Wagenschein 1999, S. 75).

Auch Dietrich BENNER (2020) bezieht sich im Rahmen seiner Schrift *Umriss der allgemeinen Wissenschaftsdidaktik* in Rekurs auf LITT auf das Problem, dass gerade wissenschaftliches Wissen in Unterrichts- und Lehrkontexten in der Regel als *gewusstes Wissen* präsentiert wird. Zugleich gehe dabei eine rein repräsentationale Form der ‚Vermittlung‘ wissenschaftlichen Wissens auch mit einem Methodenverständnis einher, das Methoden „nur als Unterrichtsverfahren“ deutet, „zwischen denen Lehrende mehr oder weniger beliebig wählen können“, das aber nicht die von LITT aufgezeigte „subjekt- und objektkonstituierende [...] Bedeutung und Funktion der Methode“ berücksichtigt (ebd., S. 219). Im Zusammenhang eines pädagogischen Methodenverständnisses rekurriert BENNER auf Hermann-Josef KAISER, der in seinem Beitrag *Erkenntnistheoretische Grundlagen pädagogischer Methodenbegriffe* (1972) zwischen einem „technologischen Verständnis von Methode“ und einem Verständnis, das die „erkenntnistheoretischen Implikationen methodischer Entscheidungen berücksichtigt“, unterscheidet (ebd., S. 134; Benner 2020, S. 221). Ein in diesem Sinne „technologisches“ Methodenverständnis sieht Methode als „Mittel zum Zweck“ (Kaiser 1972, S. 134), „als ein *Mittel* zur Darstellung und Vermittlung von etwas“ (Benner 2020, S. 221), nicht aber als gegenstandskonstituierendes Medium (vgl. Abschnitt 4.1).¹²²

Daran anknüpfend formuliert BENNER mit Verweis auf Josef DERBOLAV einen Bildungsanspruch für die Wissenschaftsdidaktik, dass diese nämlich die Wiederherstellung der *ursprünglichen Fraglichkeit* jedes Wissens zum Ziel haben müsse (vgl. Benner 2020, S. 228): DERBOLAV zufolge müsse in „der didaktischen Intention [...] vom Wissen her jene ursprüngliche Fraglichkeit wieder eröffnet werden, auf die dieses Wissen eine begründende Antwort zu geben suchte. Den Schüler in den Modus dieser Fraglichkeit zu setzen, heißt jenen Selbstbezug zum Wissen zu konstituieren, der es in Bildung überführt“ (Derbolav 1966, S. 139). Damit einher gehe auch, den „irrige[n] Dualismus von Methode und Inhalt“ zu überwinden und die „subjekt- und gegenstandskonstituierende Funktion der Methoden“ differenziert mit einzubeziehen, so beispielsweise, diese „nach Paradigmen und Wissensformen“ zu differenzieren (Benner 2020, S. 222). Insgesamt müssten, so BENNER, „die im Wissen der Wissenschaften gefundenen Antworten, um überhaupt gelehrt werden zu können, erst einmal wieder zu jenen Fragen in Beziehung gesetzt werden, auf die Wissenschaften mit ihrem methodisch erzeugten Wissen antworten“ (ebd.,

¹²² Es war u. a. Immanuel KANT, der die „gegenstandskonstitutive Funktion von Methode“ (Kaiser 1972, S. 135; H. i. O.; vgl. auch Benner 2020, S. 221) in seinen Ausführungen zur *Transzendentalen Methode* in der *Kritik der reinen Vernunft* darstellte (vgl. Kant 2017, S. 728–860).

S. 228). Ziel müsse es entsprechend sein, Lernende „in den Modus dieser Fraglichkeit“ (ebd., S. 228) zu versetzen.

Demnach ließen sich beispielsweise nach WAGENSCHEINS *genetischem Prinzip* Wissens- und Fachinhalte, in ihrem *Werden*, und damit ihrer entstehungsgeschichtlichen Prozesshaftigkeit begreifen, ein Werden, das in der Deutung LITTS (vgl. Abschnitt 4.1) maßgeblich vom formenden bzw. bildenden Charakter der *Methode* auf Erkenntnissubjekt und Erkenntnisobjekt geprägt ist. Methodisch erzeugtes Wissen ist in den Wissenschaften aber seit der frühen Neuzeit zunehmend auch durch technische Mittel und heute digital-technische Mittel erzeugtes Wissen (vgl. Abschnitte 4.2 und 5). Worin äußern sich die gegenstandskonstitutiven Funktionen der digitaltechnischen Mittel und wie prägen sie das über sie generierte Wissen? Für einen *bildenden Unterricht* im Sinne WAGENSCHEINS sowie zur Wiederherstellung der ursprünglichen Fraglichkeit dieses Wissens, ist es erforderlich, den Blick auch auf die *technischen Bedingungen* der Entstehung dieses Wissens zu richten, das schließlich als Fachinhalt in Schulunterricht und Hochschullehre thematisiert wird. Die Berücksichtigung der Frage nach der gegenstandskonstitutiven Bedeutung von Technik für disziplinäre und fachliche Wissensbestände generiert aber zugleich Reflexionsanlässe, die auch das Nachdenken *über* Technik und damit Orientierungsprozesse anregen kann: So könnten Lehrende und Lernende einerseits die epistemischen Implikationen der von ihnen eingesetzten technischen Mittel für den eigenen Lern- oder Lehrprozess kennenlernen. Gefragt werden könnte aber auch aus wissenschaftsdidaktischer Perspektive, welche Bedeutung (digitale) Technik heute für die Genese fachspezifischen, wissenschaftlichen Wissens überhaupt hat. Hierbei geht es also darum, nach den epistemischen Implikationen der technischen Mittel zu fragen, mit deren Hilfe das heute in Schule und Studium themisierte und gelernte (wissenschaftliche) Wissen entwickelt wurde.

In Bezug auf die in den Abschnitten 3 und 5 skizzierten erkenntnisprägenden Eigenschaften digitaler Technik könnten dabei u. a. die folgenden Fragen von Interesse sein: Was bedeutet es beispielsweise für die Thematisierung von physikalischem, biologischem und chemischem ‚Fachwissen‘, dass naturwissenschaftliche Experimentalräume heute zunehmend in ‚Computerlabore‘ verlagert werden? Was bedeutet es für die Literaturwissenschaft oder aber für die gängige Praxis der Kanonisierung ‚bildungswerter‘ literarischer Erzeugnisse für den Deutschunterricht, wenn Plattformen wie Google Books als eine der größten Sammlungen retrodigitalisierter Bücher (vgl. Wikipedia 2024c) die Zugänglichkeit zur weltweiten ‚Literatur‘ erheblich ausgeweitet haben und über Big-Data-Analysen nicht mehr länger nur das klassische vertiefende Lesen, sondern auch Formen des *distant reading* möglich sind? Was könnte es für die Mathematik bedeuten, dass heute in kollaborativen Praktiken der Genese adäquater Algorithmen für die Computersimulation mit ‚Tricks‘ gearbeitet wird, um mathematische Modelle computertauglich zu machen, sie algorithmisch zu codieren? Welche Möglichkeiten bietet das praktische Arbeiten und Konstruieren mit Computern aber auch umgekehrt für die Thematisierung mathematischer Fragen und Problemstellungen? Und in Bezug auf die Sozialisierung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern in den Sozialwissen-

schaften könnte gefragt werden: Was bedeutet es für Studierende der Sozialwissenschaften, dass es möglich wird, Teile zentraler Erkenntnispraktiken qualitativen Forschens, wie insbesondere das Kodieren unstrukturierter Daten, in textgenerierende und auf maschinellem Lernen basierende Systeme auszulagern, die zunehmend Eingang auch in die gängigen QDA-Softwarpakete finden? Umgekehrt aber auch: Wie kann Software dazu beitragen, sich über das eigene methodische Denken und Handeln im Klaren zu werden? Und im Hinblick auf digitaltechnikbasierte Visualisierungspraktiken: Inwiefern können computergenerierte Bilder, die wie in der wissenschaftlichen Visualisierung auf der ‚Interpretation‘ von Daten basieren, die Entwicklung des eigenen Wissens befördern, inwieweit sind sie als rhetorische Mittel aber auch prägend für das über sie generierte Wissen?

Mögliche Verbindungslien zwischen fachspezifischem Wissen in Unterricht und Lehre, das ja in der Regel ein auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit generiertes Wissen darstellt, und dessen medien- und technikspezifischer Bedingtheit können mit Blick auf unterschiedliche Wissensdomänen und unterschiedliche erkenntnisprägende Eigenschaften der digitalen Technik als Anlass für eine situative, erkenntnisinteressengeleitete Technikreflexion dienen. Nun liegt das eigentliche Ziel dieser Studie nicht im Aufzeigen jener Synergieeffekte fachbezogener und medien- und technikspezifischer Betrachtung von Erkenntnisgegenständen, sondern in der Sondierung von *Orientierungsmöglichkeiten* in der digitalen Welt, in der aber, so die Einsicht aus den vorausgegangenen Überlegungen, das Zusammenspiel von Technik als handlungsleitendes und gegenstandskonstituierendes *Mittel* der Genese von Wissen und Technik als Bildungsgegenstand in ein reflexives Verhältnis gesetzt werden können. Wenn man in diesem Kontext bedenkt, dass auch die fächerintegrative Perspektive einer „Bildung in der digitalen Welt“, wie sie die KMK (2017) vorgeschlagen hat, die Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen gerade nicht nur für digitaltechnikaffine Fächer wie die Informatik oder ggf. auch die Mathematik vorsieht, sondern auch für Englisch, Deutsch und Sport, so ist die Euler’sche Forderung, Technik bzw. auf digitale Technik basierende Medien als das jeweils *eigene Problem* des eigenen Fachs und der eigenen Wissensdomäne anzuerkennen, auch auf heutige Initiativen zur „Bildung in der digitalen Welt“ übertragbar.

Die in diesem Abschnitt genannten integrativen, über Schnittmengen modellierten Formen der Kompetenzförderung, wie sie im TPACK-Modell, aber auch im Dagstuhl- und Frankfurt-Dreieck repräsentiert werden, machen aber auch deutlich: Kompetenzen, die in einer vom digitalen Wandel geprägten Welt notwendig sind, können nicht in Form einfachen deklarativen Wissens und mittels in Kompetenzkatalogen kodifizierter Kompetenzbeschreibungen einfach ‚vermittelt‘ werden, sondern sind stets situativ in die eigenen Wissens- und Fachdomänen bzw. lebensweltlichen Zusammenhänge einzubetten und somit mit eigenen Erkenntnisinteressen zu verknüpfen.

Für die Entwicklung eines solchen reflexiven Verhältnisses zur Technik können allgemein formulierte Handlungsempfehlungen aus Kompetenzkatalogen erste Orientierungspunkte bilden, doch bleiben sie „semantisch leer“ (Neuweg 2020, S. 138), wenn sie keine

Verknüpfung zu den Erkenntnis- und Handlungsinteressen der Lernenden erfahren, wenn sie also nicht auf deren konkrete „Wirklichkeit“ rückbezogen werden (ebd., S. 138), so formuliert es Georg Hans NEUWEG in seiner lehr-lerntheoretischen Analyse von Theorien des impliziten Wissens. Im Rahmen von Kompetenzförderung kann es also nicht ausschließlich darum gehen, Lernenden deklaratives Wissen zu den auf digitaler Technik basierenden Mediensystemen und Medien zu vermitteln oder sie zu regelbewusstem Verhalten im Umgang mit Medien und Technik anzuhalten, sondern sie zu befähigen, eigenes Handeln in der digitalen Welt „jeweils situativ angemessen generieren zu können“ (ebd., S. 109). Dabei bedeutet *situative Angemessenheit* in einem *medienpädagogischen* Sinne allerdings nicht nur das Gelingen zweckrationalen Handelns mit digitaler Technik und digitalen Medien, sondern ein Handlungsvermögen, das „*sachgerecht, selbstbestimmt, kreativ und sozial verantwortlich*“ (Tulodziecki 2011, S. 23; H. i. O.) ist, und das damit ein *reflektiertes* Wissen und Können im lebensweltlichen Umgang mit digitalen Medien und der digitalen Technik darstellt.

Insbesondere vor dem Hintergrund, dass Technikgenese auf der Dekontextualisierung von Wissen und Erfahrung (vgl. Abschnitt 2.2.1) beruht, kann das Bildungsziel formuliert werden, dass Technik wieder zu *rekontextualisieren* ist, um so eine interessengeleitete, lebensweltlich anknüpfbare oder aber an die jeweiligen Wissens- und Fachdomänen anschließbare Auseinandersetzung mit ihr zu ermöglichen. In den sich im digitalen Wandel befindlichen Wissenschaften erfolgt die Auseinandersetzung mit der digitalen Technik *erkenntnisinteressengeleitet*. Aus diesen erkenntnisinteressengeleiteten Aneigungsformen digitaler Technik in den unterschiedlichen analysierten Wissenschaftsdomänen konnten zahlreiche Beispiele integrativer Praktiken der *Verwicklung* unterschiedlicher Erkenntnisinteressen und -gegenstände *mit* der digitalen Technik aufgezeigt werden, die sich in Rekurs auf DEWEY auch als „Art experimentellen Spielens mit Dingen“ (Dewey 1998, S. 90) beschreiben ließen. Aus diesen tentativen Praktiken der Verwicklung von Technik und eigenem Interesse lassen sich, wie noch zu diskutieren ist, auch allgemeine Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen ableiten. Die Fähigkeit der Reflexion des eigenen Handelns mit digitaler Technik und innerhalb digitaltechnischer Systeme und Infrastrukturen – gleich ob dieses Handeln nun von Wissenschaftlern in Bildungs- oder Wissenschaftskontexten erfolgt – soll im folgenden Abschnitt als spezifischer *Orientierungssinn* in einer digitalen Welt diskutiert werden. Bei diesem kommt es letztlich nicht auf die Rekonstruktion und Analyse der in vielen Fällen gar nicht explizit analysierbaren Technik an, sondern vielmehr auf die Reflexion der *eigenen Erfahrung* mit der Technik.

Claudia DE WITT und Christian LEINWEBER argumentieren aus medienpädagogischer Perspektive, dass sich (menschliche) Urteilsfähigkeit in Abgrenzung zur maschinellen, algorithmischen Entscheidungsfindung „in der Formulierung von Begründungen und Argumentationslinien auf der Basis individueller Erfahrungen, die in Form von praktischen Handlungsvollzügen als experimentelle Handlungen [...] in die Praxis umgesetzt werden“ vollziehen. Die Förderung einer so verstandenen Urteilsfähigkeit des Menschen sei „eine der zentralen in der medienpädagogischen Praxis zu vermittelnden Bildungsauf-

gaben“ (de Witt/Leineweber 2020, S. 45). Dabei gehe es um eine „gleichsam handlungs- wie urteilsbezogene[...] Probemlösungsfähigkeit des Subjekts“, die DE WITT und LEINWEBER als spezifisch menschliche Form der Problemlösefähigkeit gegenüber den algorithmischen Formen der ‚Problemlösung‘ markieren (ebd., S. 34). Die Entwicklung eines solchen erfahrungsbasierten Urteilsvermögens kann auf Grundlage pragmatischer Theoriepositionen auch als spezifische Form des *Forschens* gedeutet werden, so etwa, wie John DEWEY (1938) es mit dem Begriff *inquiry* umschrieben hat. Der im Problemaufriss dieser Studie aufgeworfene Verweis auf das problematische Verhältnis von Wissenschaft und Bildung (vgl. Abschnitt 1.2) könnte in diesem Sinne eine positive Wendung erfahren, wenn forschendes, experimentierendes Handeln mit Technik, ähnlich wie es RHEINBERGER auch für die Praktiken der Experimentatorinnen und Experimentatoren im Rahmen naturwissenschaftlicher Experimentsysteme beschrieben hat, auch als Orientierungsstrategie „in der digitalen Welt“ und damit als Bildungsmöglichkeit denkbar wird. *Inquiry*, wie noch aufgezeigt wird, basiert aber auf der handelnden und verändernden Auseinandersetzung mit einem Erkenntnisgegenstand und beruht im Wesentlichen auf dem Wechselspiel von Denken und Handeln, aus dem eine reflektierte Form der Erfahrung entstehen kann. Erfahrung steht aber zugleich auch in enger Verbindung mit implizitem Wissen, dessen Konzeption nach Michael POLANYI nun einleitend in den Blick genommen wird.

6.2 Erfahrung als Orientierungssinn

6.2.1 Implizites Wissen und seine Bedeutung für die Technikreflexion

In Deutschland wird, wie bereits thematisiert, seit einigen Jahren um die Umsetzung einer „Bildung in der digitalen Welt“ gerungen. Dabei herrscht der Wunsch vor, Vorstellungen über das in einer digitalen Welt benötigte Wissen und Können in Form von Kompetenzrahmen und damit in Form kodifizierter Handlungsempfehlungen¹²³ festzuschreiben und so bildungspolitisch sowie praktisch ‚handhabbar‘ zu machen. Kompetenzbeschreibungen wie die des Kompetenzrahmens der Kultusministerkonferenz (vgl. KMK 2017, S. 16–19) werden dabei *notwendigerweise allgemein* und abstrakt formuliert, um ihre Adaptierbarkeit in unterschiedlichen Kontexten zu gewährleisten. Verallgemeinernde bzw. generische Kompetenzbeschreibungen geben dadurch zwar Spielraum für eigene, situative Einbettungen, nehmen Verantwortliche dadurch aber auch in die Pflicht, diese zu füllen. Kompetenzorientierung, die das deutsche Bildungssystem nicht erst seit den Überlegungen der KMK zu einer „Bildung in der digitalen Welt“ prägt, basiert Andreas GRUTSCHKA zufolge auf der Annahme, Bildungsinitiativen müssten *explizit beschreiben*, was genau „der Bildungsbegriff eigentlich gemeint, aber leider nicht ausgesprochen und entsprechend operationalisiert hat“ (Gruschka 2019, S. 51). Kompetenzen sind dabei aber

¹²³ Passend dazu weist TULODZIECKI darauf hin, dass die Kompetenzbereiche des KMK-Kompetenzrahmens alle mithilfe von *Verben* beschrieben werden, die auf *wünschenswerte Handlungsweisen* deuten und der Kompetenzkatalog insofern als Handlungsvorschrift aufzufassen sei (vgl. Tulodziecki 2023, S. 10).

nicht „an einen bestimmten Aufgabeninhalt und eine entsprechend eng geführte Anwendung gebunden, sondern erlauben vielfältige Lösungen“ und „verlangen [...] abwägende Entscheidungen“ (ebd., S. 52) sowohl aufseiten derjenigen, die damit betraut sind, die Entwicklung jener Kompetenzen strukturell oder pädagogisch zu fördern, wie beispielsweise Lehrende an Schulen und Hochschulen, als auch seitens derjenigen, die selbst versuchen, entsprechende Kompetenzen zu entwickeln, also die Lernenden. Kompetenzbeschreibungen wie die des KMK-Kompetenzrahmens sind in ihrer Ambivalenz von Explikationsbestreben und Unbestimmtheit im Sinne des in dieser Studie entwickelten ambivalenten Technikbegriffs damit auch durchaus als *technisch* zu begreifen.

Die Ideen von (digitaler) Technik als Akt der Explizierung und damit Ablösbarkeit (Dekontextualisierung) vom Wissen und der Erfahrung ihrer Urheber steht dabei in Zusammenhang mit der abendländischen Wissenskonzeption: Durch die bereits skizzierte Ablösbarkeit des Wissens vom Wissenden durch Techniken wie die Schrift, aber auch die Computertechnik (vgl. Abschnitt 2.2.1), werde die abendländische Vorstellung eines „wahrheitsdefiniten Wissens“ überhaupt erst denkbar, argumentiert Sybille KÄRMER, denn hier übernehmen nicht mehr „persönliches Charisma“, sondern „überpersönliche Prozeduren [...] die Bürgschaft [...] für den Wahrheitsgehalt“ des Wissens (Krämer 1993, S. 73). Damit einher gehen auch die von KRÄMER skizzierten kulturgeschichtlichen Wurzeln der Informatik, denn diese sind ja gerade auf den Versuch zurückzuführen, „ein ehemals implizites intellektuelles knowing how in eine explizierbare Methode zu verwandeln“. Gelingen konnte dies durch die „Formalisierung des knowing how“, die in der Turingmaschine insofern zu einem Höhepunkt gelangte, als dass diese die maschinelle Realisierbarkeit und Turingberechenbarkeit als Grundtypus formaler Explizierung postulierte. Sowohl die Techniken der Schrift als auch die Informations- und Computertechnik reflektieren damit den in der abendländischen Wissenschaftstradition bevorzugten Typus des Wissens, „das explizierbare, überprüfbare und also intersubjektiv gültige Wissen“ (ebd., S. 81).

Mit der kontinuierlichen Entwicklung digitaler Computertechnologie werden heute immer weitere lebensweltliche Bereiche „dem Druck der Explizierung ausgesetzt, die sich bisher überwiegend am impliziten Wissen der Beteiligten orientiert oder auf die praktische Erfahrung von Experten verlassen haben“ (Rammert 2016, S. 200). Explizierung und Formalisierung von Wissen können also als vorherrschende Wissensstrategien moderner Gesellschaften gelten. Informationstechniken auf Basis digitaler Computertechnik, Netzwerktechnologien wie das Internet und Künstliche-Intelligenz-Techniken basieren auf Prozessen der Formalisierung und Algorithmisierung und treiben, so Werner RAMMERT, gegenwärtige Bemühungen der Explizierung von Wissen weiter voran. Im Kontext der Konstruktion technischer Objekte, ihrer Anwendung sowie im Rahmen ihrer Institutionalisierung entstehen aber zugleich auch *tacite* Wissensdimensionen (vgl. ebd., S. 198). RAMMERT deutet in diesem Kontext auf die Unvermeidbarkeit der Tatsache, dass bei *jedem* Akt der Explizierung stets auch implizite Wissensdimensionen entstehen: „Das Problem impliziten Wissens besteht demnach nicht darin, dass es als ein fest umrissener

arkanter Bereich existiert, der nicht explizit gemacht werden kann, sondern dass implizites Wissen bei jeder Form von Explizieren naturwüchsig entsteht, es gleichsam ein ständiges Nebenprodukt bei der Produktion von Transparenz und Explizitheit ist“ (Rammert 2016, S. 217). Für die Nutzung technischer Objekte sind daher stets Interpretationsleistungen und Aneignungsstrategien erforderlich, um das in den technischen Objekten von ihrem Entstehungskontext abgelöste bzw. dekontextualisierte Wissen (vgl. Abschnitt 2.2) wieder erfahrbar zu machen. Im Zusammenhang von Technik als Dekontextualisierung habe ich hier u. a. auf den von GIDDENS (1995) beschriebenen Vorgang der *Entbettung* und *Wiedereinbettung* von Wissen hingewiesen (vgl. Abschnitt 2.2.2). Nicht zuletzt habe ich digitale Technik in dieser Studie als *Möglichkeitsraum* skizziert, der flexible Formen der Nutzung und Aneignung anbietet, die aber wiederum Interpretations- und Reflexionsleistung erfordern (vgl. Schelhowe 2007b, S. 82 und Abschnitt 2.3.1). Interpretationsabhängig sind technische Objekte aber auch deswegen, weil sowohl technische Konstruktions- als auch Nutzungsdimensionen mit zahlreichen Dimensionen des kulturbedingten, und damit impliziten Wissens, verknüpft sind (vgl. Rammert 2000, S. 87).¹²⁴ Nicht zuletzt argumentieren Heidrun ALLERT und Michael ASMUSSEN auch in Hinblick auf die algorithmische Verfasstheit der digitalen Technik, dass Versuche, über digitale Technik *Bestimmtheit* herzustellen, stets Unbestimmtheitsbereiche eröffnen (vgl. Allert/Asmussen 2017, S. 31). Dabei treffe der in Algorithmen implizierte regelhafte „Umgang mit der Welt“ stets auf „zutiefst situiertes und performatives menschliches Denken und Handeln“, denn im Kontext performativer Praktiken, „in denen jeder einzelne Beitrag auch seinen Kontext mitproduziert“, nehmen alle Beteiligten an der „Produktion von Unbestimmtheit“ teil (ebd., S. 31) und produzieren wiederum neue implizite Dimensionen des Wissens.

Implizites Wissen, so RAMMERT, ist also ein „nicht reduzierbarer Bestandteil unserer Orientierung in der Welt“ (Rammert 1998, S. 55), und damit auch ein Kernaspekt der in dieser Studie gestellten Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen. Im Hinblick auf die Bedeutung des impliziten Wissens in solchen Orientierungsprozessen ist die Frage von Interesse, inwiefern und auf welche Weise Zugangsmöglichkeiten zu den impliziten, nicht artikulierten bzw. nicht artikulierbaren Dimensionen technischer Objekte hergestellt werden können. Dabei interessiert vor allem, inwiefern Menschen (digitale) Technik im experimentellen, tentativen Umgang mit ihr *erfahren* können und dadurch einen reflexiven Zugang zu ihr entwickeln können, der über das analytische und *explizite* Rekonstruieren der technischen Objekte hinausgeht.

¹²⁴ Kulturell bedingtes implizites Wissen, das Eingang in die Technikkonstruktion gefunden hat, zeigt sich beispielsweise daran, dass nach wie vor technische Objekte, wie beispielsweise Toaster, auf die Norm der Rechtshändigkeit verweisen (vgl. Strübing 2005, S. 295) oder aber, dass Seifenspender mit Infrarotsensor mitunter bei schwarzer Haut nicht funktionieren, weil die damit zusammenhängende Infrarot-Technologie auf die Bedarfe weißer Haut abgestimmt ist (vgl. Fischer 2019, o. S.). Ein nutzenden-seitiger Umgang mit Technik, der von kulturellem Wissen geprägt ist, zeigt sich beispielsweise auch, wenn mein junges Kind auf dem Bildschirm meines Desktop-PCs zu wischen versucht, weil es – ganz selbstverständlich – einen Touchscreen erwartet.

Weiterführend, so meine Annahme, ist an dieser Stelle daher ein Exkurs in die Theorie der *dualen Struktur* des Wissens und damit zusammenhängenden Theorien des *impliziten Wissens*, wie sie im Folgenden kurзорisch skizziert und im Hinblick auf Möglichkeiten der Technikreflexion entfaltet wird.

In der Theoriebildung zum taziten bzw. schweigenden Wissen wird vor allem auf die wissenstheoretischen Überlegungen Michael POLANYIs referiert, die angrenzend oder in ähnlicher Weise auch in den sprachanalytischen Ansätzen von Gilbert RYLE, John R. SEARLE oder Ludwig WITTGENSTEIN zu finden sind (vgl. Kraus 2021, S. 18). Auch Peter BAUMGARTNER (1993) greift bei der Entfaltung seiner Vorstellung vom Hintergrundwissen auf SEARL (1987, S. 180–220) zurück, der den Begriff des *Hintergrunds* wiederum von WITTGENSTEIN (1984, §350, §461) aufgegriffen und weitergedacht hat. Was bei BAUMGARTNER, SEARL und WITTGENSTEIN als Hintergrundwissen gilt, wurde u. a. von RYLE als *knowing how* (vgl. Ryle 1959, S. 25–61) und von POLANYI in seinem Konzept des *tacit knowing* entfaltet. In der folgenden Konturierung des schweigenden Wissens beziehe ich mich im Wesentlichen auf die Überlegungen POLANYIs sowie auf die Arbeit von Georg Hans NEUWEG, der sich mit Blick auf die lehr-lerntheoretische sowie didaktische Bedeutung impliziten Wissens in der Wirtschaftspädagogik mit den Theorien Michael POLANYIs auseinandergesetzt hat.

Im Kontext der Erziehungswissenschaft werden Ansätze zum *impliziten, stummen* oder *stillschweigenden* Wissen vor allem bezüglich ihrer Implikationen für Erziehung, Bildung und das Lernen diskutiert (vgl. Budde et al. 2021). Schweigendes, tazites oder implizites Wissen ist aus Sicht von Lern- und Bildungsprozessen deshalb von Bedeutung, da angenommen werden kann, dass viele Aspekte des Lehrens, Lernens sowie von Bildungsprozessen im Allgemeinen nicht verbalisiert werden können sowie kognitiv nur begrenzt zugänglich sind (vgl. ebd., S. 11).¹²⁵ Kausalitätsbeziehungen, bei denen pädagogische Wirkungen nach einem Input-Output-Schema erzielt werden können, sind demnach nicht möglich. Wie bereits erwähnt, sprechen LUHMANN und SCHORR (1982) hier vom „Technologiedefizit“ pädagogischen Handelns. Pädagogisch „erwünschte Wirkungen“ sind vielmehr „unhintergehbar an das bildsame Individuum zurückgebunden“ (Kraus 2021, S. 23) – und damit an das *persönliche Wissen*, wie POLANYI (2002) es in der von ihm in *Personal Knowledge* formulierten Wissen(schaft)stheorie ausdrückt. Rationale Auffassungen, die von einer Objektivierbarkeit und grundsätzlichen Explizierbarkeit – und damit immer auch ‚Lehrbarkeit‘ – von Wissens- sowie Bildungsinhalten ausgehen, tendieren KRAUS zufolge dazu, die *Negativität* von Bildungsprozessen auszublenden, indem das „was explizit, sichtbar, evident“ ist, in den Vordergrund gerückt und „verständliche Repräsentation gegenüber vieldeutiger Substanz privilegiert“ werde (Kraus 2021, S. 23). Dass Lernen dabei stets mit *Erfahrung*, und hier vor allem auch mit der „Erfahrung der

¹²⁵ So ist das schweigende Wissen heute zentrales Thema phänomenologischer, differenztheoretischer, praxeologischer, poststrukturalistischer und diskursanalytischer Unterrichtsanalysen (vgl. Budde et al. 2021, S. 13).

Negativität“ einhergeht, werde in einer solchen Auffassung ausgeblendet (ebd., S. 23). Dabei führen vor allem etablierte Leitdifferenzen wie die dichotomische Unterscheidung von Körper und Geist, Erfahrung und Kognition, Theorie und Praxis nach wie vor zu einer Unterbewertung des nicht artikulierten bzw. nicht explizierbaren Wissens (vgl. Budde et al. 2021, S. 11) und rücken damit beispielsweise auf tazitem Wissen basierende Handlungen in den Bereich des *nicht-intelligenten Handelns*. Die Wissenstheorien RYLES und POLANYIs haben demgegenüber die spezifische *Intelligenz* impliziter Handlungs- und Bewusstseinsvorgänge sowie der *Intuition* in den Vordergrund gerückt, wie im darauffolgenden Abschnitt noch genauer in den Blick genommen wird (vgl. Abschnitt 6.2.2).

In seiner Theorie impliziten Wissens versuchte POLANYI nicht, explizites und implizites Wissen in dualistischer Manier voneinander abgrenzen, sondern ihm kam es darauf an, die stillschweigenden Dimensionen *aller* Wissensprozesse theoretisch zu rehabilitieren. Dass er die taziten Dimensionen des Wissens betonte, lag vor allem an der von ihm wahrgenommenen vorherrschenden Einstellung in Wissenschaftstheorie und akademischem Diskurs, die allein das objektivierbare, propositionale und explizierbare Wissen als Kriterium für Wissenschaftlichkeit zu etablieren suchte. Ziel seiner Wissenschaftskritik war es daher, auf die taziten Dimensionen jeglichen Wissens, auch und gerade im Kontext des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns, hinzuweisen. Grundlegend für POLANYIs Wissenstheorie ist also nicht der Versuch einer Abwertung expliziten Wissens, sondern die Auffassung einer grundsätzlichen *Vorgängigkeit* des *tacit knowing*, bei dem ein „vorbewusstes Erfahrungswissen“ dem explizierbaren Wissen stets zugrundeliegt. Alles Wissen ist POLANYI zufolge „*either tacit or rooted in tacit knowledge. A wholly explicit knowledge is unthinkable*“ (Polanyi 1969, S. 144; H. i. O.). Die Feststellung, dass „*wir mehr wissen, als wir zu sagen wissen*“ (Polanyi 2016, S. 14; H. i. O.), bildet dabei für POLANYI die zentrale Einsicht, um die er seine Theorie des impliziten und persönlichen Wissens konzipiert. In seiner wissenstheoretischen Arbeit geht es POLANYI also nicht primär um die Unterscheidung unterschiedlicher Wissensarten, sondern um die Frage, wie neues Wissen überhaupt entsteht. Dabei unternimmt er den Versuch, den wissenschaftlichen Entdeckungszusammenhang jenseits der Vorstellung expliziter Schlussverfahren strukturell zu erfassen und betont dabei vor allem *Imagination* und *Intuition* als notwendige Bestandteile der (wissenschaftlichen) Wissensgenese (vgl. Neuweg 2020, S. 139), die er aber nicht – wie beispielsweise Karl POPPER – in den Bereich des Psychologischen, und damit des prinzipiell Irrationalen, verortet (vgl. Popper 1984, S. 6). Bei seiner wissenstheoretischen Analyse des Entdeckungszusammenhangs gilt POLANYIs Interesse daher der Rehabilitation der stillschweigenden Dimensionen *jeglicher* Erkenntnis- und Wissensvorgänge, für die er auf der Suche nach einer (Quasi-)Logik ist, die es vermag, stillschweigende Wissens- und Bewusstsseinsvorgänge strukturell zu erfassen, ohne das damit einhergehende Wissen selbst als positives, propositionales explizieren zu müssen (vgl. Polanyi 1969, S. 138 und 142). Diese Logik entfaltet er in seinem Konzept der “logic of tacit inference” (ebd., S. 139–158).

Unter tazitem Wissen versteht POLANYI Bewusstseins- und Erkenntnisprozesse, die „wir nur mittelbar, nebenbei, unterhalb des eigentlichen Denkinhalts registrieren“ (Polanyi 2016, S. 10; vgl. auch Neuweg 2020, S. 137). POLANYIs Theorie des taziten Wissens ist damit weniger Wissenstheorie denn „Theorie des Erkennens und Tuns“, des „Verstehens und Lernens sowie der Bewusstseinsvorgänge, die solche mentalen Akte begleiten“ (Neuweg 2020, S. 134). Tazite Bewusstseinsvorgänge lassen sich für POLANYI am ehesten in Prozessen der *Wahrnehmung* (“perception”) nachzeichnen, daher auch sein Plädoyer dafür, bei der Suche nach einer “logic of discovery” (Polanyi 1969, S. 139) von Theorien der Wahrnehmung auszugehen. Beeinflusst wird POLANYI von der Gestaltpsychologie, daher analysiert er Wahrnehmungsvorgänge als *Gestaltwahrnehmung*, die für ihn eine grundlegende Form taziter Wissensverarbeitung darstellt (vgl. Neuweg 2020, S. 139–143). Den Prozess der Gestaltwahrnehmung beschreibt POLANYI als tazites Schlussverfahren bzw. “*tacit inference*” (Polanyi 1969, S. 138–158). Die dabei von ihm entfalteten Strukturmerkmale der Gestaltwahrnehmung lassen sich für POLANYI in alle möglichen Dimensionen des Erkennens und Tuns übertragen, sie finden sich also sowohl in der Genese wissenschaftlichen Wissens als auch im Rahmen künstlerischer, athletischer oder technischer Aktivitäten sowie in Sprachpraktiken wieder (vgl. Polanyi 2016, S. 16). Für POLANYI dient die “*logic of perceptual integration*” (Polanyi 1969, S. 139) also als *grundlegendes Modell der Erschließung von Welt*. In Bezug auf die Involvierung taziter Dimensionen des Wissens sieht er zwischen den Prozessen der Wissensgenese in den Wissenschaften und allgemeinen Vorgängen der perzeptuellen Integration strukturelle Ähnlichkeiten, die sich nur graduell unterscheiden, denn auch in der wissenschaftlichen Wissensproduktion gehe es letztlich um das Erkennen von *Gestalten*: “*Scientific knowing consists in discerning gestalten that indicate a true coherence in nature*” (ebd., S. 138; H. i. O.). Die Fähigkeit, Zusammenhänge zu erkennen und „zu erwarten, dass sich die gleichen, gesthaft erkannten Zusammenhänge in neuer Weise werden darstellen können“ (Neuweg 2020, S. 140) verbindet für POLANYI Wissenschaft und Gestaltwahrnehmung.

Die grundlegende Struktur taziter Wissensvorgänge besteht also in der Fähigkeit, Zusammenhänge zu erkennen (“the powers of perceiving coherence”) – wir würden heute mit Blick auf die digitale Technik vielleicht auch von einer menschlichen Form der *Mustererkennung* sprechen: In perzeptuellen Vorgängen bedeutet *tacit inference* die Integration zahlreicher Einzelelemente und “clues” zu einem Gesamtobjekt der Wahrnehmung, also die “*integration of a thousand changing particulars into a single constant sight*” (Polanyi 1969, S. 139), durch die ein Objekt als *Gesamtgestalt* erkennbar wird. Demzufolge ist es Menschen u. a. möglich, ein Gesicht unter zahlreichen anderen wiederzuerkennen, ohne dass sie in der Lage wären, einzelne Charakteristika dieses Erkenntnisvorgangs zu explizieren bzw. ohne dass es nötig wäre, einzelne Gesichtszüge explizit ins Bewusstsein zu rufen (vgl. Polanyi 2016, S. 14).

In der gestaltpsychologischen Deutung werden *Gestalten* nicht als ‚Summe ihrer Einzelteile‘ im Wahrnehmungsvorgang zusammengesetzt, sondern stets *holistisch* und damit als untrennbare Entität wahrgenommen (vgl. Neuweg 2020, S. 135–137; Baumgartner 1993). POLANYI geht dabei davon aus, dass Gestaltwahrnehmung in erheblichem Maße

von Hinweisreizen abhängt, die *nicht im Fokus* der primären Aufmerksamkeit der oder des Wahrnehmenden stehen bzw. gänzlich unbewusst bleiben. Die Aufmerksamkeit für diese Hinweisreize ist POLANYI zufolge nur „subsidiär“, während der Fokus der Aufmerksamkeit auf dem Gesamtobjekt liegt. Die subsidiären Elemente, die POLANYI als *proximalen Term* bezeichnet, fungieren dabei als *Hintergrundbewusstsein* („*subsidiary awareness*“). Fokal bewusst wird dagegen nur die *Gesamtgestalt*, die POLANYI als *distalen Term* bzw. *Fokalbewusstsein* („*focal awareness*“) bezeichnet (Polanyi 1969, S. 140–144; H. i. O.; Neuweg 2020, S. 135).

Wie wir beim Erkennen von Gesichtern „unsere Aufmerksamkeit *von* den einzelnen Merkmalen *auf das Gesicht*“ (Polanyi 2016, S. 19; H. i. O.) richten und in diesem Moment nicht imstande sind, die einzelnen Merkmale zu identifizieren, so richten wir auch im Rahmen bestimmter Fertigkeiten wie dem Radfahren (vgl. Polanyi 1969, S. 141) unsere Aufmerksamkeit von „elementaren Bewegungen *auf* die Durchführung ihres vereinten Zwecks“, während wir die einzelnen Bewegungsabläufe nicht angeben können. Dies bezeichnet POLANYI als die „*funktionale Struktur*“ impliziten Wissens (Polanyi 2016, S. 19; H. i. O.). Wenn wir eine Gestalt als Ganzes betrachten, nehmen wir POLANYI zufolge deren Einzelemente anders wahr, als wenn wir die Einzelemente isoliert betrachten. In der Wahrnehmung von Gestalten haben Einzelemente eine *funktionale Bedeutung*, die ihnen nicht zukommt, wenn die Einzelemente isoliert betrachtet werden. Einzelemente werden damit zu *Mitteln* oder Werkzeugen der Gestaltwahrnehmung. POLANYI beschreibt diese *Funktionalisierung* der Einzelemente zu einem im Hintergrund fungierenden Mittel als *Integration*. Diese ermöglicht es Menschen, auf ein Gesamtobjekt bzw. einen Gesamtzusammenhang zu fokussieren und bildet für POLANYI den Kern des Vorgangs, den er als „*tacit knowing*“ bezeichnet (Polanyi 1969, S. 140). Strukturell unterliegt diesem impliziten Integrationsvorgang eine „*von-auf-Relation*“ (ebd., S. 146; Übers. OM), bei der wir „von etwas Fundierendem, das wir nicht als es selbst in den Blick nehmen [...] auf etwas Fundiertes, dem unser eigentliches Interesse gilt“ blicken (Neuweg 2020, S. 136).

Es ist dieser Prozess der impliziten Integration, der nach POLANYI dem wahrnehmenden bzw. erkennenden Subjekt dazu verhilft, Bedeutungen zu konstruieren. Dass dem proximalen Term in diesem Vorgang lediglich eine funktionale Bedeutung zukommt, verhilft dem Subjekt dazu, Aufmerksamkeit auf sein *eigenliches Interesse* (den distalen Term) zu richten. Dabei ist es aber stets der „*Akt einer Person*“ (Polanyi 1968, S. 30; zit. nach Neuweg 2020, S. 183), durch den Bedeutung konstruiert wird. Indem das Subjekt aktiv bedeutungskonstruierend zwischen distalem und fokalem Term vermittelt, erweitert sich das Zusammenspiel aus Hintergrund- und Fokalbewusstsein zu einer *Triade*, die POLANYI als „*Triad of Tacit Knowledge*“ bezeichnet (Polanyi 1969, S. 181). Durch diese werde NEUWEG zufolge eine „*logische Lücke*“ zwischen den beiden Bewusstseinsvorgängen geschlossen. Evident wird die Existenz dieser Lücke durch die Tatsache, dass der distale Term eben *nicht* auf die *Summe seiner Einzelteile* reduzierbar ist (Neuweg 2020, S. 214), und damit nicht durch rein analytisches Rekonstruieren erschließbar wird. Die logische Lücke zwischen distalem und proximalem Term ist also nicht zu schließen, indem die

Gestalt in ihre Einzelemente zerlegt wird, denn im impliziten Schluss fügt das Subjekt neue Bedeutung hinzu und schafft somit „aus proximalen Bestandteilen *mehr*“, als in ihnen enthalten wäre, wenn sie als Einzelemente betrachtet würden. Ihnen wird also eine Bedeutung zugeschrieben, die sie „in sich selbst und aus sich heraus“ nicht innehaben (Neuweg 2020, S. 213; Herv. OM).

Die Wahrnehmung von Gestalten bzw. Zusammenhängen erfolgt also durch die Funktionalisierung von Bewusstseinsinhalten *auf etwas anderes hin*. Als ‚bloße‘ Mittel oder Werkzeuge sind jene Bewusstseinsinhalte in diesem Moment jedoch der Reflektierbarkeit und Analyse entzogen, und damit zunächst „a-kritisch“ (Neuweg 2020, S. 217): Wir *verlassen* uns auf sie, ohne sie im Detail zu kennen. POLANYI vergleicht sie daher mit menschlichen Körperfunktionen: “Our body is the only assembly of things known almost exclusively by relying on our awareness of them for attending to something else” (Polanyi 1969, S. 147). Körperfunktionen sind damit Mittel bzw. “tools”, denen wir keine Aufmerksamkeit schenken, auf die wir uns aber verlassen. POLANYI zufolge können aber auch äußerliche Objekte und Wahrnehmungsgegenstände in diesem Sinne ‚einverlebt‘ werden. Wenn wir uns beispielsweise auf ein Werkzeug verlassen, wird dieses nicht länger als äußeres Objekt, sondern als Teil des eigenen Körpers wahrgenommen: “We pour ourselves out into them and assimilate them as parts of our own existence. We accept them existentially by dwelling in them” (Polanyi 2002, S. 59).

Für die Gestaltwahrnehmung, wie beispielsweise beim Erkennen eines Gesichts, ist es POLANYI zufolge gerade nicht notwendig, dass wir Einzelemente jemals fokal, also bewusst kennengelernt haben, noch sichert eine vorgängige explizite Analyse ihrer Einzelemente, dass wir eine Gestalt wie ein Gesicht überhaupt erkennen können. Den proximalen Term, also Hintergrund, jemals bewusst in den Blick zu nehmen ist „*weder hinreichende noch notwendige Bedingung*“ der Gestaltwahrnehmung (Neuweg 2020, S. 165; H. i. O.). Eine Betrachtung der Einzelmerkmale aus „zu großer Nähe“ wäre POLANYI zufolge sogar kontraproduktiv, denn dabei „erlischt ihre Bedeutung, und unsere Vorstellung von dieser Entität ist zerstört“ (Polanyi 2016, S. 25). POLANYI nennt hier das Beispiel eines Klavierspielers. Konzentriert dieser sich auf die Bewegungen seiner Finger, kann die Beweglichkeit seines Spiels dadurch gehemmt oder ganz unterbrochen werden (vgl. ebd., S. 25). Ähnlich argumentiert auch BAUMGARTNER: Über den Hintergrund lässt sich „nicht sprechen“, ohne dass „er die Eigenschaft, Hintergrund zu sein, verliert“, über den Hintergrund zu sprechen bedeutet, dass er die Möglichkeit verliert „als Hintergrund zu wirken“ (Baumgartner 1993, S. 20 f.; H. i. O.).

Umgekehrt gelingt die Auflösung der fixen Bindung zwischen proximalem und distalem Term erst, wenn nicht länger *vom* proximalen Term *auf* seine Bedeutung für die Wahrnehmung des distalen Terms fokussiert wird, sondern auf den proximalen Term selbst: “In order to attend *from X to its meaning*, you must cease to look *at X*, and *the moment you look at X you cease to see its meaning*” (Polanyi 1969, S. 146; H. i. O.). Zerstört wird “meaning” also dann, wenn nicht mehr *von* einer Sache auf deren Bedeutung, sondern *auf die Sache selbst* geblickt wird: “We shall presently see that to attend

from a thing to its meaning is to *interiorize* it, and that to look instead at the thing is to *exteriorize* or *alienate* it. We shall then say that we *endow a thing with meaning by interiorizing it and destroy its meaning by alienating it*” (ebd., S. 146; H. i. O.). Aufmerksamkeit auf den proximalen Term bzw. die subsidiären Bewusstseinselemente zu richten, wirkt also „*sinnzerstörend*“ (Polanyi 2016, S. 26), es verfremdet diese durch „*Fokussierung*“ (Neuweg 2020, S. 242). Rückt ein zuvor nur subsidiär wirksamer Bewusstseinsinhalt nun in das Zentrum der Aufmerksamkeit, wird damit dessen Bedeutung als *Mittel* zur Entwicklung von *Wissen über etwas anderes* zerstört. Dieser Bewusstseinsinhalt kann aber im Nachhinein durch „*erneute Verinnerlichung der einzelnen Merkmale*“ wieder *reintegriert* und dabei auch mit neuer Bedeutung versehen werden. In der Textanalyse beispielsweise kann dies bedeuten, dass eine detaillierte Zergliederung eines Textes und „*Versenkung ins Detail*“ zunächst zwar „*sinnzerstörend*“ wirkt, nach der Reintegration der Einzelelemente aber zu einem tieferen Textverständnis beitragen kann (Polanyi 2016, S. 26). Die Analyse als ein Auseinandernehmen (“*dismemberment*”) des Ganzen fügt nach einer erneuten Integration der Einzelelemente für das Verständnis mehr hinzu, als durch das Auseinandernehmen seiner zusammenhängenden Struktur verloren gegangen ist (Polanyi 1969, S. 125). POLANYI fasst diese Vorgänge als Wechselspiel von *Analyse* und *Integration*, das letztlich zu einem tieferen Verständnis eines Zusammenhangs führen kann (vgl. Polanyi 1969, S. 125) und das auch für die in dieser Studie zentrale Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen in mancherlei Hinsicht von Interesse ist (vgl. Abschnitt 6.3.1).

Insgesamt zeigt sich aus der Theorie der impliziten Integration, dass der Verlust bzw. die Unmöglichkeit analytischer und damit bewusster Zugriffe auf bestimmte Teile eines Wissenszusammenhangs konstitutiver Bestandteil jeglicher Wissensprozesse und die Grundlage der Erschließung *neuen Wissens* überhaupt darstellt. Es müssen also bestimmte Wissenselemente buchstäblich in den Hintergrund rücken, damit Neues erschlossen werden kann. Zur Anknüpfung an die Technikreflexion ist dabei hervorzuheben, dass Mittel bzw. Werkzeug bei POLANYI bewusstseinstheoretisch als etwas verstanden wird, das naturgemäß nicht im Fokus der Aufmerksamkeit des erkennenden Subjekts liegt, sondern stets als Teil seines Hintergrundbewusstseins fungiert, auf das es sich verlässt, um etwas *anderes zu erreichen* (vgl. Polanyi 2002, S. 61). Wird auch Technik entsprechend als Mittel verstanden, dann bleibt sie per definitionem „unter dem Radar“ unserer Aufmerksamkeit, und das ist auch sinnvoll, denn nur so können Menschen mithilfe technischer Mittel *Neues* erschließen und *eigene* Ziele verfolgen. Subsidären Vorgängen als Mitteln kommt dabei ein im weitesten Sinne *medialer Charakter* zu, insofern der proximale Term nämlich *etwas* (den distalen Term) zum Erscheinen bringt, dabei aber selbst nicht bewusst in Erscheinung tritt und im Hintergrund menschlicher Aufmerksamkeit verbleibt (vgl. auch Abschnitt 2.3.2). Damit ließe sich die *Medialität* der (digitalen) technischen Mittel auch wissenstheoretisch begründen, insofern auch der Umgang mit technischen bzw. digitaltechnischen Medien stets im Sinne einer *Von-auf-Relation* betrachtet werden kann, deren Einzelmerkmale in Form einzelner unterliegender Mechanismen und Eigenschaften na-

türlicherweise nicht im Vordergrund stehen können, sondern stets ‚unter der Benutzeroberfläche‘ wirksam sein müssen, damit sie nutzbar sind. Damit wird die Medialität technischer Objekte aber zum unhintergehbaren Bestandteil von Prozessen der Genese *neuen Wissens* mithilfe dieser Mittel.

Infrage steht nun jedoch die Reflektierbarkeit des mit technischen Objekten in Zusammenhang stehenden stillschweigenden Wissens, macht diese zumindest nicht trivial. Die für die vorliegende Studie zentrale Fragestellung nach den Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen ist daher mit POLANYI differenzierter zu stellen: Inwieweit können und müssen wir zur Erreichung von Zielen – wie beispielsweise dem Fachunterricht, in Lehre und Studium oder aber alltäglichen Lebenskontexten – mittels digitaler Technik *naturgemäß* reflexionslos umgehen, um in etwa neues Wissen erschließen und eigene Ziele erreichen zu können? Bezogen auf eine „Bildung in der digitalen Welt“ stellt sich hier u. a. die Frage, unter welchen Umständen und in welchen Kontexten es genügt, Kompetenzförderung im Hinblick auf eine technische Bedienfähigkeit (Technik als Mittel der Zielerreichung) zu reduzieren, ohne eine reflexive und kritische Be- trachtung der technischen Mittel in den Fokus zu stellen, und in welchen Kontexten eine Reflexion, und damit ein Heraustreten aus den zielgerichteten Verwendungszusammenhängen technischer Mittel, sowohl möglich als auch erkenntnisfördernd ist. Mit POLANYI lässt sich immerhin begründen, dass durch die Aufmerksamkeit auf die technischen „Einzelemente“ – insoweit dies im Kontext der digitalen Technik überhaupt möglich ist – diese ihre Bedeutung als Mittel zum Zweck einbüßen. So zeigt POLANYI, dass die bewusste Reflexion und Aufmerksamkeit auf jene eigentlich stillschweigenden Elemente eines Wissensvorgangs zunächst in der „Zerstörung“ ihrer Bedeutung (Polanyi 2016, S. 26) resultieren kann. Im Kontext von Bildungsprozessen und zur Entwicklung eines Orientierungssinns innerhalb digitaltechnischer Strukturen sind dafür letztlich *dedizierte Bildungsräume* notwendig, in denen es möglich wird, sich auf Einzelemente des technischen Gesamtzusammenhangs jenseits ihrer funktionalen Vereinnahmung zu konzentrieren. Bildung ist in diesem Sinne angewiesen auf „Verzögerung“, wie Andreas DÖRPINGHAUS (2013) argumentiert, und damit auf den Verzicht auf die Leistungsstärke reflexionslos nutzbarer Technik (weiterführend vgl. Abschnitt 7). Inwieweit kann und muss in Bildungskontexten also eine *bewusste* – und damit für die Funktion des Mittels auch sinnzerstörende – Reflexion der den eingesetzten Techniken unterliegenden Funktionsweisen evoziert werden? Inwiefern führt die bewusste Aufmerksamkeit auf die medien- und technikspezifischen Zusammenhänge, und damit auf digitale Technik und digitale Medien als Erkenntnisobjekt, tatsächlich zu einem komplexeren Verständnis der damit erzielten Resultate und Handlungszusammenhänge? Wichtig für die Entwicklung eines reflexiven Handlungsvermögens innerhalb und mit digitaler Technik – und soweit lässt sich mit POLANYI argumentieren – ist in diesem Zusammenhang vor allem die *Reintegration* und Wiedereinverleibung der durch Analyse und explizites Nachdenken ‚sinnzerstörten‘ Bewusstseinsinhalte. Auf das von POLANYI angedeutete Wechselspiel von Analyse und Integration wird an anderer Stelle nochmals eingegangen (vgl. Abschnitte 6.3.1).

Im Folgenden sollen aber zunächst weiterhin die impliziten Dimensionen in Erkenntnisvorgängen im Fokus stehen, denen POLANYI, wie noch zu zeigen ist, eine spezifische Form der ‚Intelligenz‘ zuschreibt. Für die Ermittlung von Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen sind diese Überlegungen POLANYIS deshalb von Interesse, weil sie die Frage nach der Bedeutung der *Intuition* in Wissens- und Erkenntnisvorgängen aufwerfen, die ihrerseits wieder die Frage nach der *Erfahrung* bedeutsam macht. Dieser wird schließlich in Anknüpfung an die Theorieposition John DEWEYS im zweiten Teil des folgenden Abschnitts weiter nachgegangen.

6.2.2 Entwicklung eines „Kennerblicks“ und Reflexion als „inquiry“

Eine zweite Konsequenz der Überlegungen POLANYIS für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten ist das Postulat der *Vorgängigkeit des Impliziten* in Erkenntnis- und Wissensvorgängen (vgl. Abschnitt 6.2.1). Bezogen auf die Suche nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb und mittels digitaltechnischer Strukturen stellt sich hierbei die Frage, inwiefern Menschen zunächst ein *intuitives* Gespür für die Technik erlangen müssen, um davon ausgehend deren Konsequenzen für das eigene Handeln einschätzen zu können. Ist davon auszugehen, dass menschliches Verstehen digitaltechnischer Prozesse aufgrund ihrer Intransparenzen analytisch teilweise gar nicht möglich ist (s. o.), so wirft dies die Frage auf, inwiefern die Entwicklung von *Intuition* – und zwar in der Art, die NEUWEG auch als „Kennerblick“ bezeichnet (Neuweg 2020, S. 252) – hier eine Möglichkeit der reflexiven Bezugnahme auch zu den analytisch nicht zugänglichen Teilen digitaltechnischer Strukturen darstellt. Ist dies der Fall, bleibt die Frage, *wie* die Entwicklung eines solchen intuitiven Gespürs bzw. Kennerblicks möglich wird. Das an dieser Stelle aufgeworfene Postulat der Entwicklung *technischer Intuition* soll im Folgenden näher ausgeführt und begründet werden.

Bezüglich des Begriffs der Intuition wird an dieser Stelle noch einmal auf bisher unerwähnte Überlegungen POLANYIs zurückgegriffen. Die Dynamik impliziten Wissens und der damit zusammenhängenden Erkenntnismöglichkeiten manifestiert sich für POLANYI auch im Zusammenspiel von *Imagination* und *Intuition*. NEUWEG weist auf zwei für POLANYI zentrale Kräfte hin, die von implizitem Wissen geprägte Erkenntnisprozesse beeinflussen, zum einen ein „aktives, antizipatives Moment“, das er mit *Imagination* bezeichnet und zum anderen ein „passives, integratives Moment“, welches das Subjekt „geschehen lassen muss“ und das NEUWEG mit *Intuition* bezeichnet. Das Subjekt imaginiert aktiv, indem es im Erkenntnisvorgang auf das zu erkennende Ganze bzw. das zu lösende Problem *vorgreift* und damit die oben angedeutete „logische Lücke“ zwischen Subsidiär- und Fokalbewusstsein schließt. Es *verlässt* sich dabei jedoch zugleich intuitiv auf das mit dem Imaginationsvorgang verbundene implizite Wissen (Neuweg 2020, S. 199 f.).

Für POLANYI besteht die Intuition einer Wissenschaftlerin bzw. eines Wissenschaftlers in der Fähigkeit, die Vorhandenheit eines noch verborgenen Zusammenhangs mit ziemlich hoher Wahrscheinlichkeit aufdecken zu können und erinnert darin an den Modus der

Abduktion (vgl. Abschnitte 5.2.2 und 5.2.3): “Having chosen a problem, he thrusts his imagination forward in search of clues and the material he thus digs up – whether by speculation or experiment – is integrated by intuition into new surmises, and so the inquiry goes on to the end” (Polanyi 1969, S. 201 f.).¹²⁶ Die Fähigkeit einer bzw. eines Forschenden, ein forschungswürdiges Problem zu erkennen, entspricht dabei der Fähigkeit, in einer Ansammlung einzelner Anhaltspunkte ein *Gefüge* zu erkennen, das auf einen verborgenen Zusammenhang hindeutet (vgl. ebd., S. 117). Diese Form der „antizipativen Intuition“ im Rahmen wissenschaftlicher Erkenntnisprozesse ist nicht als Hypothese im Sinne explizierbarer Aussagen zu verstehen, sondern eher als „Vermutung, dass es etwas gibt, was man in den Fokus bringen könnte“ (Neuweg 2020, S. 201). Intuition ist also keine *analytische* Fähigkeit, sondern eine *synthetische*, die ein antizipierendes Wahrnehmen von Gestalten wie die eines Gesichts oder aber eines (wissenschaftlichen) Problems ermöglicht, ohne dass zuvor ein detailliertes Wissen zum Gegenstand artikulierbar sein muss.

NEUWEG bezeichnet diese Form der Intuition auch mit dem Terminus „Kennerblick“. In Rekurs auf KANTS Idee der *Urteilskraft* (Kant 2017, 133 A, S. 209) konturiert NEUWEG den Kennerblick dabei als das „Vermögen, etwas zutreffend als ‚Fall von‘ zu erkennen“ (Neuweg 2020, S. 253). Im Sinne von KANTS Begriff der Urteilskraft geht es dabei vor allem um die „Kompetenz, zwischen allgemeinen Prinzipien und besonderen Fällen eine reflektierende Vermittlung zu leisten“ (Rohbeck 1993, S. 245). Urteilsvermögen ist nach POLANYI eine spezifische Form der *Gestaltwahrnehmung*, in der es gerade nicht darum geht, einzelne Bestandteile oder Funktionselemente der identifizierten Gestalt explizieren zu können, sie ist insofern zwar wissensbasiert, aber in ihrem Handlungsbezug *intuitiv* zugänglich. POLANYI geht davon aus, dass ein Individuum dabei gelernt hat, Muster „im Lichte eines Ziels, *auf* das sein Bewusstsein hingerichtet ist (funktionaler Aspekt), unmittelbar *als* Handlungsaufforderung zu sehen (phänomenaler Aspekt) und solcherart mit *Bedeutung* zu belegen (semantischer Aspekt)“, das heißt also „die adäquate Handlung mit und in der Situation gleichsam mitzusehen“ (Neuweg 2020, S. 252).

Für NEUWEG ist der Kennerblick oder die Urteilskraft eine menschliche Disposition, die u. a. in der aristotelischen Vorstellung der *phronēsis* zum Ausdruck kommt (vgl. Neuweg 2020, S. 253). Während ARISTOTELES in der *Nikomachischen Ethik* zeigt, dass die Kenntnis der *technē* allein noch nicht handlungsfähig macht (vgl. ebd., S. 253), ermöglicht praktische Klugheit (*phronēsis*) Handlungsfähigkeit auch in spezifischen Situationen, in denen sich allgemeines Wissen auch in konkreten Handlungszusammenhängen bewährt: „Auch hat die Klugheit nicht nur mit dem Allgemeinen zu tun, vielmehr muss sie auch das Einzelne erkennen. Denn sie ist handlungsbezogen [...], und das Handeln betrifft das Einzelne“ (Aristoteles 2006, Buch 6, Kap. 8, S. 204). Etwas als „Fall von“ erkennen zu

¹²⁶ Auch Kurt GÖDEL verwies auf die Bedeutung der Intuition in der mathematischen Erkenntnisarbeit sowie auf die Frage nach der Bedeutung menschlicher Intuition im Verhältnis zu formallogischen Systemen (vgl. Hui 2019, S. 109 f.). GÖDEL und andere konnten zeigen, dass „das Tun des Mathematikers niemals vollständig auf das Berechnen zurückzuführen ist“ (Krämer 1988, S. 157).

können bedeute nach ARISTOTELES beispielsweise nicht nur ganz allgemein zu wissen, dass „leichtes Fleisch gut verdaulich und gesund ist“, sondern auch zu wissen, „welches Fleisch leicht ist“, so beispielsweise zu wissen, „dass Geflügelfleisch leicht und gesund ist“ (Aristoteles 2006, Buch 6, Kap. 8, S. 204). Die praktische Klugheit (*phronēsis*) zeichnet sich also durch den „Blick für das Ganze“ (Neuweg 2020, S. 253) aus, der Individuen befähigt, sowohl um die allgemeinen Bedingungen einer Handlungssituation zu wissen, als auch deren Auftreten in besonderen Situationen wiedererkennen zu können.

Im Kontext von *phronēsis* geht es dabei vor allem darum, eine Relation zwischen allgemeinem Wissen und dem eigenen Handeln in konkreten Situationen sowie den eigenen Handlungs- und Erkenntnisinteressen herzustellen (vgl. Mahrdt 2007, S. 2). Praktische Klugheit (*phronēsis*) kann demzufolge als „die Eigenschaft eines individuellen oder institutionellen Akteurs [gelten], vernünftig-überlegt situationsangemessen handeln zu können“ (Hubig/Luckner 2021, S. 155). Sie steht damit auch in engem Zusammenhang mit dem, was von MITTELSTRAB als „Orientierungswissen“ bezeichnet wurde (vgl. Abschnitt 1.2). Orientierungswissen genauso wie *phronēsis* repräsentieren einen Wissenstypus, der das „irreduzibel situations- und akteursspezifische Wissen“ in den Vordergrund rückt, dem es nicht um ein Befolgen *materialer* „Normbegründungen“ (also deklaratives Wissen), sondern vielmehr um die „formalen Bedingungen gelingender Praxis“ geht. Kluges Handeln betont dabei eine Handlungsform, deren „Zweck Handeln als gelingender Vollzug ist“ (ebd., S. 155). Sie bildet damit eine Gegenbewegung zu Handlungsformen, die „sich bloß an der Funktionalität zur Realisierung bestimmter Zwecke in Werken oder Zuständen“ orientieren. Gerade in gesellschaftspolitischen Kontexten liefert das Konzept damit zentrale Aspekte zur Konturierung von Handlungsqualifikationen und zur Entscheidungsfindung (ebd., S. 155). Ziel der *phronēsis* ist dabei die „Vermittlung zwischen allgemeinen moralischen Regeln und konkreter Handlungssituation“ (vgl. Hillerbrand/Poznic 2021, S. 168).

Aber woher kommt jene von POLANYI postulierte Vorahnung bzw. Intuition, die eine Person befähigt, die Relevanz eines Erkenntnisgegenstandes einzuschätzen bzw. einem Forschungsproblem nachzugehen, über das sie noch nichts Genaues weiß? Wie kommt sie oder er dazu, ein Problem zu sehen, wo andere keines vermuten (vgl. Polanyi 1969, S. 118)? Wie können Kennerblick, praktische Klugheit und Urteilskraft entwickelt werden? Für ARISTOTELES ist *phronēsis* nur durch ein „durch Erfahrung [geschärftes] Auge“ (Aristoteles 2006, Buch 6, Kap. 12, S. 211) zu erlangen, sie kann nur durch „Lernen und Gewöhnung“ erworben werden, für die allerdings das alleinige Vermitteln von Faktenwissen nicht ausreicht (Hillerbrand/Poznic 2021, S. 168). Auch KANT spricht davon, dass „Urteilskraft aber ein besonderes Talent sei, welches gar nicht belehrt, sondern nur geübt sein will“ (Kant 2017, A 133, S. 209). Für KANT sind es dabei vor allem „Beispiele“, die die „Urteilskraft schärfen“ (ebd., A 133 f., S. 210). Die Ausbildung praktischer Klugheit sowie von Urteilskraft im KANT’schen Sinne kann also nicht über kodifiziertes Wissen „gelehrt“ werden, sondern nur durch *Anwendung*. Letztlich ist es also *Erfahrung*, die den Kennerblick, praktische Klugheit und Urteilskraft hervorbringen, und damit die Fähigkeit, „komplexe Muster wahrzunehmen“ (Neuweg 2020, S. 255) sowie einen Blick für

das Ganze – das Allgemeine und seine situative Verortung in spezifischen Handlungssituationen – zu gewinnen.

Zusammenfassend lässt sich zunächst mit POLANYI konstatieren, dass eine solche Form der Erfahrung *erlernbar* ist: Zwar besitzt der Mensch eine natürliche Empfänglichkeit für Muster und Zusammenhänge, diese kann aber in Lernprozessen weiter *entwickelt* werden (vgl. Polanyi 1969, S. 118). Das intuitive Sich-Verlassenkönnen auf bestimmte, auch unbewusst verbleibende Aspekte eines Wissensvorgangs basiert auf menschlicher Intuition, die durch Lernprozesse entwickelt und deren Entwicklung daher aus pädagogischer Perspektive auch *gefördert* werden kann. Weiterhin lässt sich aus den Überlegungen zur *phronēsis* schließen, dass die Entwicklung eines reflexiven Handlungsvermögens im Hinblick auf die digitale Technik Bildungsinitiativen erforderlich macht, die nicht ausschließlich auf der Vermittlung eines allgemeinen-kodifizierten Wissens *über* digitale Medien und digitale Technik basieren, sondern auch die Entwicklung von Erfahrungswissen ermöglichen. Nur durch Erfahrung sind Nutzende in der Lage, technisches Allgemeinwissen mit dem eigenen Handeln, eigenen Handlungs- und Erkenntnisinteressen oder konkreten Situationen zu verknüpfen, ein ‚geschärftes Auge‘ für Strukturen und problematische Muster digitaltechnischer Phänomene zu entwickeln, in ihrer Lebenswelt wahrgenommene Phänomene und eigene Erfahrungen als ein „Fall von“ jenem digitaltechnischen Allgemeinen zu erkennen sowie „die adäquate Handlung mit und in der Situation gleichsam mitzusehen“ (Neuweg 2020, S. 252).

Nun könnten explizierte, kodifizierte Handlungsempfehlungen in Form von Kompetenzrahmen wie den KMK-Kompetenzen (2017) den Eindruck erwecken, dass die *Entwicklung* der darin geforderten Kompetenzen bzw. das Erreichen gewünschter Kompetenzniveaus durch das „bewusste Anwenden von Regeln“ erfolgen könne, dass Individuen bzw. Lernende Kompetenzen durch ein regelhaftes Nachgehen curricular bzw. als ‚Lehrbuchwissen‘ verankerter Handlungsempfehlungen erwerben könnten. NEUWEG bezeichnet diesen Fehlschluss als „didaktischen Kategoriefehler“ (Nieuweg 2020, S. 79). Er entsteht im Zuge einer „Konfusion von Zielbeschreibung und Methode“ (ebd., S. 108) und beruht auf der Annahme, dass es möglich ist, Lernprozesse durch „explizite Vermittlung“ deklarativen Regelwissens und „unter Ausschaltung oder Minimierung erfahrungsbasierten Lernens entscheidend abzukürzen“ (ebd., S. 109).

Dieser und weitere Kategoriefehler entstehen aufgrund einer Denkweise, die Gilbert RYLE als *intellektualistische Legende* bezeichnet hatte. RYLE hatte gegen die Annahme argumentiert, explizites, propositionales Wissen sei dem Handeln „zeitlich und logisch vorgelagert“, dass also Handlungen stets „im Denken“ beginnen und schließlich „im Handeln“ münden (Nieuweg 2020, S. 70). In *The Concept of Mind* (1959) kritisiert RYLE mit dem Bild vom „Gespenst in der Maschine“ den cartesischen Leib-Seele-Dualismus, der davon ausgeht, dass Menschen einen „Geist“ besitzen, der jenseits der Physis des Körpers bzw. des Gehirns als biologischer Entität existiert (Nieuweg 2020, S. 66). Nach dieser Auffassung sind geistige Ereignisse stets Voraussetzung für beobachtbares Handeln bzw. Handeln und körperliche Ereignisse Wirkungen geistiger Ereignisse (vgl. ebd., S. 67).

Die intellektualistische Legende geht also davon aus, dass Wahrnehmen und Handeln dem „Wissen“ und „Planen“ *nachgängige* Prozesse darstellen, dass Handeln stets „in der Welt des Geistes“ antizipiert werde müsse (Neuweg 2020, S. 68), dass Handelnde zunächst im ‚Geiste‘ auf sich einreden, bevor sie tatsächlich handeln: „He must preach to himself before he can practise“, fasst RYLE zusammen (Ryle 1959, S. 29). Nach der intellektualistischen Legende sind *Tun* und *Denken* zwei voneinander getrennte Vorgänge: „It is to do a bit of theory and then to do a bit of practice“ (ebd., S. 29). RYLE leugnet menschliches Planungsvermögen nicht, aber er wendet sich gegen die Annahme einer *zweiten Welt*, in der „es regulierende Schattenhandlungen zusätzlich zu einer äußeren oder inneren Verrichtung gibt“ (Neuweg 2020, S. 80).¹²⁷

Nun ist es POLANYI zufolge zwar möglich, im *Nachhinein*, also nach einer impliziten Integration, die neues Wissen aufschließt, Teile des proximalen Terms zu identifizieren, dabei also in einen expliziten, analytischen Modus der Reflexion zu wechseln – in gleicher Weise, wie es auch möglich ist, „Regeln erfolgreichen Handelns zu formalisieren, *nachdem* Handeln erfolgreich war“. Die „Prämissen“ einer erfolgreich ausgeführten Fertigkeit“ jedoch „können wir explizit erst entdecken, wenn wir sie implizit schon entdeckt haben“ (Neuweg 2020, S. 214 f.; H. i. O.). Dies gilt auch für die *Erschließung neuen Wissens* im Kontext der Genese wissenschaftlichen Wissens, worauf auch POLANYI verweist: Die logischen Prämissen des generierten Wissens sind keine, die den Wissenschaftenden bereits *vor* dem Erkenntnisvorgang vorliegen, sondern diese „schälen“ sich erst während des Erkenntnisvorgangs bzw. des Vorgangs des ‚Faktenschaffens‘ heraus, wie auch RHEINBERGER dies für die Arbeit an und in Experimental systemen beschrieben hat (vgl. Abschnitt 5.3.1). Sie entstehen erst im Kontext wissenschaftlichen Handelns – bei RHEINBERGER vor allem im Kontext technischen Handelns mit technischen Dingen im Experimental system – und können erst im *Nachhinein* expliziert werden, indem darauf reflektiert wird, *wie* diese Fakten zustandegekommen sind: „The logical premises of factuality are not known to us or believed by us *before* we start establishing facts, but are recognized on the contrary by reflecting on the way we establish facts“ (Polanyi 2002, S. 162; H. i. O.).

So kann zwar auch die Beschreibung von Lernzielen respektive Kompetenzniveaus als Orientierungsrahmen oder aber in einem „rekonstruktiv-explanatorisch[en]“ sinnvoll

¹²⁷ Die intellektualistische Legende produziert NEUWEG zufolge aus didaktischer Sicht eine Reihe von Kategoriefehlern: Zum einen führt die Annahme, dass eine Person es vermag, ihr Verhalten (häufig retrospektiv) in Regeln zu beschreiben zum Irrtum, sie hätte diese Regeln beim Vollziehen von Handlungen tatsächlich *angewandt*, was schließlich zur Annahme führt, Können sei bewusste Regelanwendung (vgl. Neuweg 2020, S. 79). Als Kategoriefehler der dritten Person bezeichnet NEUWEG die Tatsache, dass auch Außenstehende, also dritte Personen, oft in der Lage sind, das Verhalten einer anderen Person regelhaft zu beschreiben. Der Kategoriefehler besteht dabei darin, dass auch die dritte Person ihre Beschreibung als Akt „unbewusster Regelanwendung“ der oder des Handelnden fehldeuten kann. Als *didaktischen Kategoriefehler* bezeichnet NEUWEG, wie oben erwähnt, den Irrtum, dass die beiden Kategoriefehler der ersten und dritten Person zur Forderung führen können, dass in Lehr-Lernprozessen „explizites Wissen zu vermitteln ist“ (Neuweg 2020, S. 79).

sein, im Hinblick auf das subjektive *Entwickeln* von Kompetenzen bzw. eines reflexiven Handlungsvermögens gilt es jedoch darauf zu achten, dass Kompetenzbeschreibungen nicht „zu einer psychologischen Hypothese“ (Neuweg 2020, S. 110) über die mit dem Kompetenzerwerb einhergehenden kognitiven Aneignungs- bzw. Lernmodi selbst geraten. Denn aus dieser Perspektive würde Kompetenzförderung vor allem zu einem „Inhaltsproblem“, bei dem der ‚Stoff‘ als in der Regel versprachlicher Kodex „modellhaft als objektives Äquivalent subjektiv aufzubauender kognitiver Strukturen“ dient (Witt 1982, S. 770; zit. nach Neuweg 2020, S. 109). Zugestanden werde in dieser Perspektive zwar in der Regel, dass die Förderung des Aufbaus von Wissen und Können durch *Übung* ergänzt werden müsse, diese erhält dabei allerdings nur einen „abgeleiteten Stellenwert“ (Neuweg 2020, S. 109). Benötigt werde laut NEUWEG aber eine „heuristische Vorstellung davon [...], was beim intelligenten Können vor sich geht“, diese müsse vor allem deutlich machen, „warum und inwiefern Können eine Funktion der durch Instruktion niemals gänzlich substituierbaren Erfahrung ist“ (ebd., S. 124).

Für die Medien- und Technikbildung lässt sich daraus schließen, dass die Thematisierung von basalem technischem Bedien- und Überblickswissen, wie sie in formalen Bildungskontexten beispielsweise in einem einführenden Basiskurs Medienbildung erfolgt (vgl. LMZ o. J.), zwar durchaus bedeutsam ist. Sie kann aber die notwendigen Prozesse des Sammelns eigener, situativer und handlungsbezogener Erfahrungswerte mit digitaler Technik und digitalen Medien nicht abkürzen. Im Folgenden geht es darum, erfahrungs-basierte *Modi der Aneignung* digitaltechnikbezogenen Wissens und Könnens in den Blick zu nehmen und sie als Voraussetzung gerade auch für eine *reflexive Annäherung* an die Technik zu betonen. Im Vordergrund der folgenden Ausführungen steht daher auch der Begriff der *Erfahrung*. Sie gilt als zentrales Konzept sowohl der Theorien sozialer Praxis als auch pragmatischer Positionierungen. Für die in dieser Studie gestellte Frage nach Orientierungsmöglichkeiten in der digitalen Welt soll vor allem auf John DEWEYS pragmatische Theorieposition zurückgegriffen werden, der die „reflexive Struktur“ der Erfahrung betont (Volbers 2015, S. 197 f.) und die Vorstellung einer *bildenden Erfahrung* geprägt hat.

Die pragmatische Theorieposition, insbesondere John DEWEYS, arbeitet sich dabei vor allem an der *Auflösung* der Unterscheidung von Theorie und Praxis ab. Für DEWEY ist Theorie bzw. Denken „integraler Teil dessen, was es als Mensch heißt, sich handelnd zu orientieren“ (Volbers 2015, S. 197). Theorie bzw. *Denken* im Allgemeinen ist aus pragmatischer Sicht eine „*Wirkmacht* der Praxis“ (ebd., S. 197; H. i. O.) und damit nur in der *Verwicklung* mit dieser zu verstehen. Bereits Charles Sanders PEIRCE hatte in seiner pragmatischen Auffassung vertreten, „Begriffe und Theorien in Verbindung mit Handlungen“ zu betrachten und damit nach ihrer „praktischen Wirkung zu beurteilen“ (Rohbeck 1993, S. 168). Ähnlich wie RYLE (1959), kritisiert DEWEY die intellektualistische Haltung, die davon ausgeht, dass „all experiencing is a mode of knowing“ (Dewey 1929, S. 21; vgl. auch Volbers 2015, S. 200). Demgegenüber verweist er darauf, dass Menschen „intentionale und praktische Verhältnisse zu Gegenständen [entwickeln], lange bevor diese zu

einem Gegenstand im kognitiven Sinne werden“ (Volbers 2015, S. 200): “They are things *had* before they are things *cognized*” (Dewey 1929, S. 21). Damit verweist DEWEY auf die Vorgängigkeit des praktischen Umgangs mit den Dingen der Welt, die vor jeder reflexiven, theoretisierenden Bezugnahme auf diese Dinge erfolgt.¹²⁸ In erkenntnistheoretischer Perspektive wird bei DEWEY ein am „idealisierten Vorbild der experimentellen Naturwissenschaften“ orientiertes Theorie-Praxis-Verständnis sichtbar, in dem nicht das Vertrauen auf die „reine Vernunft“, sondern das *beständige Erproben* von Begriffen und Theorien in der *experimentellen Praxis* im Vordergrund steht. Diese Praxis kann als „reziproker Prozess“ verstanden werden, in dem „vage und unspezifische Vermutungen [...] im Wechselspiel mit der Situation fortlaufend konkretisiert“ werden und das zu untersuchende Problem dabei „schrittweise präzisiert“ wird (Volbers 2015, S. 208).

DEWEY bezeichnet diesen Prozess als *inquiry*: “Inquiry is the directed or controlled transformation of an indeterminate situation into a determinately unified one” (Dewey 1938, S. 117). DEWEY konzipiert *inquiry* als fünfschrittigen Prozess: Ausgangspunkt bildet dabei ein zunächst noch unbestimmtes Gefühl, dass „etwas nicht stimmt“ (Volbers 2015, S. 208) bzw. eine „Situation der Orientierungunsicherheit“ (Strübing 2005, S. 64). Dabei werden die Grundmuster des Problems zunächst erahnt, bevor sie zu einem explizierbaren und analysierbaren (wissenschaftlichen) Gegenstand (“subject-matter”) einer Untersuchung werden können: “a problem must be felt before it can be stated” (Dewey 1938, S. 70). *Inquiry* als iterative Form der Problembestimmung und -lösung setzt sich nach der Ausgangssituation der Ungewissheit mit der Problembestimmung (“institution of a problem”) als der zweiten Stufe des *inquiry*-Prozesses fort (ebd., S. 107). Dabei wird die unbestimmte Situation als *problematisch* bestimmt (vgl. ebd., S. 107). In dieser Feststellung des Problematischen werden bereits Weichen für die Problemlösung gestellt, bei der eine fehlerhafte Einschätzung des Problems den Untersuchungsprozess auch zum Scheitern bringen kann (vgl. Strübing 2005, S. 54). Der dritte Schritt besteht daraufhin in der „tentativen Entwicklung möglicher Problemlösungen“ (ebd., S. 55). Dazu gilt es zunächst, die Fakten (“constituents”) der Problemsituation durch Beobachtung festzustellen und diese tentativ mit möglichen Lösungen abzugleichen. Zum Zuge kommen dabei

¹²⁸ Diese Differenz erklärt DEWEY anhand der Unterscheidung von *primärer* und *sekundärer* Erfahrung. Unter primärer Erfahrung (“primary experience”) versteht DEWEY die alltäglichen Erfahrungsdimensionen, die “gross, macroscopic, crude” sind; als sekundäre Erfahrung gelten ihm dagegen die “refined, derived objects of reflection” (Dewey 1929, S. 3 f.). Unter primärer Erfahrung ist also ein noch nicht problematisierter Handlungsverlauf zu verstehen, der aus „weitgehend habitualisierten Erfahrungskontexten“ resultiert und in dem Erfahrung und Gegenstand, Subjekt und Objekt „in einer unanalysierten Ganzheit“ wahrgenommen werden (Neubert 2004, S. 14). Die Erfahrung der Ganzheit wird jedoch gestört, wenn eine Problemsituation auftritt, in der bewährte Deutungsmuster nicht länger greifen. Daraufhin werden mögliche Konsequenzen von Handlungen „in einer uneindeutigen und zukunftsoffenen Situation“ reflektiert und in diesem Zuge werden für Erfahrungsgegenstände und Verhaltensweisen neue Bedeutungen konstruiert. Diese Erfahrungsebene nennt DEWEY *secondary* oder *reflective experience*. Diese Erfahrungsebene bildet die der „Erkenntnisgewinnung und Theoriebildung“, die sowohl in alltäglichen Konfliktsituationen als auch in der wissenschaftlichen Forschung von Bedeutung ist (Neubert 2004, S. 14).

sowohl vage Vermutungen (“*suggestions*”) als auch konkretere Ideen (“*ideas*”). *Ideas* unterscheiden sich insofern von *suggestions*, als dass Ideen bereits auf ihre Eignung als Lösungsmöglichkeit hin geprüft werden: “The suggestion becomes an idea when it is examined with reference to its functional fitness; its capacity as a means of resolving the given situation” (Dewey 1938, S. 110). *Suggestions* dagegen sind noch vage und ähneln als erste spontane Vermutung einer möglichen Lösung eher PEIRCE’ Idee des abduktiven Blitzes (vgl. Strübing 2005, S. 55). Den vierten Schritt des *inquiry*-Prozesses betitelt DEWEY mit “*Reasoning*” (Dewey 1938, S. 111; H. i. O.). Diesem kommt entscheidende Bedeutung zu, denn hier werden die losen Fäden der *facts*, *suggestions* und *ideas* in Beziehung zueinander gesetzt, um deren Bedeutung (“*meaning*”) für einander zu klären.

Allerdings führt der dem *Reasoning* unterliegende Denkakt allein nicht zur Problemlösung: “Reasoning as such, can provide means for effecting the change of conditions but by itself cannot effect it” (Dewey 1938, S. 118). Hier offenbart sich der zentrale Gedanke, der DEWEYS Idee von *inquiry* unterliegt. Der Lösung kommt man nur durch den aktiven Eingriff in die Problemsituation bei, denn *inquiry* besteht insbesondere in der “*transformation of an indeterminate situation into a determinately unified one*” (ebd., S. 117; Herv. OM) und eine solche Transformation kann nur über die “*execution of existential operations*” (ebd., S. 118), und damit Handlungsvollzüge, erreicht werden. Mit dem Zusammenspiel von *reasoning* und *operations* markiert DEWEY die Verwicklung von Denken und Handeln als untrennbares Konstituens des *inquiry*-Prozesses und damit auch seiner Idee *reflexiver Erfahrung*. Fakten und Ideen realisieren sich erst durch Operationen, also im Handeln. So müssen Ideen insofern *operational* sein, als dass sie zum einen weiterführende Beobachtungen anleiten können, aber auch anzeigen, wie auf bestehende Bedingungen eingewirkt werden kann, um *neue Aspekte* ans Licht zu bringen. So wird es möglich, zunehmend einen größeren Zusammenhang aufzuschließen (vgl. ebd., S. 112 f.).

Als fünfter Schritt des *inquiry*-Prozesses folgt das “*experiment*” (Dewey 1938, S. 114; H. i. O.), in dem sich “*facts*” und “*ideas*” bzw. aufgestellte Hypothesen praktisch bewähren müssen. Nur im Experiment können Hypothesen auf ihre praktischen Konsequenzen hin geprüft werden. Nach DEWEY bleibt ein Problem unlösbar, “*save as it is recognized that both observed facts and entertained ideas are operational*” (ebd., S. 112). DEWEY betrachtet den *inquiry*-Prozess als iterativen Prozess, der mehrfach durchlaufen wird (vgl. Strübing 2005, S. 57). Inquiry ist insofern ein „*continuing process*“, an dessen Ende keine endgültige Form eines neuen “*knowledge*” oder “*belief*” stehen kann, sondern lediglich eine “*warranted assertibility*”, also begründbare Behauptung (Dewey 1938, S. 8 f.; H. i. O.). DEWEYS Konzeption von Wissen erweist sich damit als „konsequent prozedural“, da das Ende eines *inquiry*-Prozesses stets den Startpunkt einer neuen Untersuchung bildet (Strübing 2005, S. 59). Insgesamt geht der *inquiry*-Prozess vom Wechselspiel von Denken und Handeln aus. STRÜBING zufolge bedeutet dies, dass einerseits *Handeln* stets „*auch reflexive Prozesskomponenten*“ einschließt und andererseits *Denken* stets nur als „*eine Etappe im Gesamtprozess des Handelns*“ zu betrachten ist (ebd., S. 56).

Die Idee einer „*reflexiven Veränderung der Situation*“, durch die Situationen selbst immer zur „*Praxis*“ werden, in die eingegriffen werden kann, ist für DEWEY von zentraler

Bedeutung (Volbers 2015, S. 209). Erkenntnis wird hier als „aktive und verändernde Handlung beschrieben, durch die die Menschen in konkreten Konfliktsituationen praktische Probleme lösen“ (Rohbeck 1993, S. 169). Die pragmatische Grundeinstellung zielt dabei stets auf die „kreative Lösung von Problemen“ (Joas 2016, S. 12).

Dem Vorwurf an das pragmatische Theorieverständnis, dieses sei nur einem „Nützlichkeitsdenken“ unterworfen, das darauf aus sei, „einfach das Problem vom Tisch zu bekommen, anstatt sich um ein tieferes Verständnis zu mühen“, entgegnet VOLBERS, dass dem Denken DEWEYS hierbei eine unzutreffende dualistische Denkweise unterstellt würde, die auf der kategorischen Trennung von Theorie und Praxis beruht (Volbers 2015, S. 208 f.). Pragmatismus als „Philosophie der Erfahrung“ beruht aber auf der „irreduzible[n] Bezogenheit“ von Handeln und Denken, Theorie und Empirie (ebd., S. 209) – und in Anklang an die hier vorgenommene Diskussion des Technikbegriffs auch die von *epistêmê* und *technē*. Denn für DEWEY sind es vor allem die technischen Apparaturen, die im Kontext experimenteller naturwissenschaftlicher Forschung jene modifizierende Befragung des Materials der „direkten Wahrnehmung“ (Dewey 1998, S. 93) erlauben (vgl. Abschnitt 4.2) und so einen spezifisch technischen Modus von *inquiry* nahelegen. Für die hier interessierende Frage nach Orientierungsmöglichkeiten *innerhalb* digitaltechnischer Strukturen stellt sich allerdings die Frage, inwiefern (digitale) Technik Möglichkeiten anbietet, eine solche eingreifende, transformierende Untersuchung *ihrer selbst* in Angriff zu nehmen (vgl. Abschnitt 6.3.1).

DEWEYS *handlungsorientierte Deutung* von „*inquiry*“ steht zugleich für eine Denkweise, die DEWEY bereits zuvor im Begriff des „reflective thought“ (Dewey 1938, S. 21) zum Ausdruck gebracht hat. In seiner Schrift *How We Think* erläutert er, dass *reflective thought* das gründliche und aktive Untersuchen von Glaubens- und Wissenssystemen auf ihre Gründe hin bedeutet (vgl. Dewey 1910, S. 6). U. a. in seiner Schrift *Democracy and Education* konturiert DEWEY seine Idee reflexiven Denkens auch als Grundlage seines Erfahrungsbegriffs, der wiederum Grundlage für seine reformpädagogische Vorstellung eines *Lernens aus Erfahrung* bildet. Erfahrungen, aus denen tatsächlich ‚gelernt‘ werden kann, konstituieren sich demnach durch das Wechselspiel aus *Tun* und *Erleiden* („doing“ und „undergoing“), bei dem Handeln stets reflexiv mit den aus dem Handeln erwachsenen Konsequenzen verknüpft werden soll. Aus Erfahrungen zu lernen bedeutet also „to make a backward and forward connection between what we do to things and what we enjoy or suffer from things in consequence“ (Dewey 2008, S. 124). Dieses Herstellen einer Verbindung zwischen einem Tun und seinen Konsequenzen nennt DEWEY *Reflexion* (ebd., S. 128). Dabei konstituiert DEWEY unterschiedliche Ebenen der Reflexion, die von Trial-and-Error bis hin zur Möglichkeit reichen, die dem Trial-and-Error-Vorgang unterliegenden kausalen Mechanismen detailliert zu eruieren. Letztere, detailliertere, Form der reflexiven Erfahrung stellt DEWEY nun als „reflective par excellence“ dar. Für ihn besteht

reflexive und damit *bildende Erfahrung*¹²⁹ in einem “intentional endeavor to discover specific connections between something which we do and the consequences which result, so that the two become continuous” (ebd., S. 129). Genuine Erfahrung ist also weder allein durch das aktive Tun noch durch das reine Nachdenken zu erreichen, sondern immer nur in ihrem Wechselspiel und DEWEYS “reflective thought” ist stets auch eine Form der “reflective practice” – eine Idee die Donald SCHÖN später für die professionelle Praxis weiterentwickelt hat.

In möglicherweise nicht immer explizitem Rückgriff¹³⁰ auf die Überlegungen John DEWEYS im Rahmen seiner Expertiseforschung zeigt Donald SCHÖN, wie Expertinnen und Experten und professionell Handelnde *im Handeln denken*. In seiner Schrift *The Reflective Practitioner* prägt SCHÖN hierfür den Begriff “reflection-in-action” und übernimmt dabei DEWEYS Idee des aktiv transformierenden “reflective thought” (Dewey 1938, S. 21) für seine Idee der “reflective practice” (Schön 1992, S. 123; zit. nach Chiapello/Bousbaci 2022, S. 2). Dabei legt er seinen Fokus vor allem auf den Handlungsbezug reflexiver Praxis, das Nachdenken entsteht hier unmittelbar aus den erfolgten Handlungen und den Rückmeldungen, die aus Handlungsresultaten eingeholt werden können (vgl. Neuweg 2020, S. 335–340). In der angloamerikanischen Rezeption gilt *The Reflective Practitioner* als das meistzitierte Buch zur beruflichen Expertise (vgl. Neuweg 2020, S. 335).

Eingeleitet wird eine solche *Reflexion in der Handlung* bzw. *reflection-in-action* in der Regel durch einen Überraschungsmoment (vgl. Schön 1983, S. 56) bzw. die „Erfahrung des Scheiterns routinierter Wahrnehmungs- und Handlungsmuster“, durch die sich eine Problemsituation als einzigartige erweist oder in der Praktikerinnen und Praktiker das vage Gefühl haben, dass „etwas nicht stimmt“ (Neuweg 2020, S. 336). Dann reflektieren sie auf das Phänomen und auf die darin implizierten Verständnisweisen. Der darauffolgende Versuch, „Ordnung auf eine Situation zu projizieren“, sie zu *framen*, führt dabei zu unerwarteten Ergebnissen, die ein erneutes „reframing“ erfordern (ebd., S. 336; H. i. O.). Was reflection-in-action dabei aber von einer *nachgängigen* Reflexion unterscheidet, die SCHÖN als reflection-on-action bezeichnet, ist ihre „unmittelbare Handlungsbedeutsamkeit“ (Neuweg 2020, S. 336). Reflexion wird in Handlungskontexten ausgelöst und im Kontext des primären Handlungsprozesses als ein “on-the-spot-experiment” (Schön 1983, S. 63) in Angriff genommen. Dabei wird der oder die Im-Tun-Reflektierende „zur Forscherin oder zum Forscher in eigener Sache“ (“a researcher in the practice context”). Dies erfolgt jedoch nicht durch ein Separieren des “thinking from doing”, indem sie oder er Handlungen „vordenkt“, um sie dann umzusetzen, sondern der aktive Eingriff in die Situation ist Teil des Denkprozesses (ebd., S. 68) und ähnelt damit

¹²⁹ Der Begriff der *bildenden Erfahrung* stammt aus der deutschen Übersetzung (vgl. Dewey 2011, S. 218) von DEWEYS Werk *Democracy and Education* (vgl. Dewey 2008).

¹³⁰ In *The Reflective Practitioner* erwähnt SCHÖN DEWEY kaum, stellt in einem späteren Aufsatz aber klar (vgl. auch Chiapello/Bousbaci 2022, S. 2): “Logic, which I took as the basis for my doctoral thesis, was the book that changed my mind about Dewey. [...] I was attempting, in effect, to make my own version of Dewey’s theory of inquiry, taking ‘reflective practice’ as my version of Dewey’s ‘reflective thought’” (Schön 1992, S. 123; zit. nach Chiapello/Bousbaci 2022, S. 2).

DEWEYS Vorstellung von *inquiry*. SCHÖN bezeichnet dieses experimentelle, forschende Handeln auch als “reflective conversation with the situation” (Schön 1983, S. 76–104), die SCHÖN u. a. im Kontext von Designprozessen in der Architektur erläutert. Designprozesse deutet SCHÖN als Auseinandersetzung (“conversation”) mit den komplexen materiellen Bedingungen eines Designproblems. Im Konstruktionsprozess entstehen dabei auch nicht-intendierte Resultate, die neue Einschätzungen zur Problemsituation erfordern und wiederum neue Handlungsschritte (“moves”) der Designerinnen und Designer in Gang setzen: Designerinnen und Designer gehen ein Projekt zunächst in Übereinstimmung mit ihrer ersten Einschätzung des unterliegenden Problems an, sind aber aufmerksam im Hinblick auf das, was die „Situation“ ihnen zu ihrer anfänglichen Einschätzung „zurückmeldet“, und reflektieren schließlich auf die ihrer Einschätzung unterliegenden Vorannahmen (Schön 1983, S. 79; Übers. OM). Diese „Konversation“ mit einer Problemsituation basiert dabei also vor allem auf der Fähigkeit der Praktikerinnen und Praktiker, auf die Rückmeldungen (“back-talk”) der Situation zu achten.

Unmittelbar handlungsbedeutsames Reflektieren äußert sich im Gegensatz zur nach-gängigen Reflexion dabei auch darin, dass versucht wird, Routinesituationen, *in neuem Licht erscheinen* zu lassen, sie vor dem Hintergrund eines neuen Rahmens zu betrachten (“reframe”) und dann schließlich die überraschenden Folgen einer neuen Rahmung nach-zuvollziehen, woraus wiederum neue Fragen und Ziele formuliert werden können. Daher bezeichnet SCHÖN *reflection-in-action* auch als “frame experiment”: Forschende in eigener Sache sind bereit, in eine problematische Situation einzutreten und dieser mithilfe einer spezifischen von ihnen gewählten *Rahmung* nachzugehen. Ziel ist es, die Konsequenzen dieser Rahmung auf die Situation zu studieren, dabei aber offen für überraschende Rückmeldungen der Situation zu sein. Diese Haltung bezeichnet SCHÖN als “double vision” (Schön 1983, S. 164; H. i. O.): Darunter ist zu verstehen, dass Handelnde zwar in Übereinstimmung mit der Perspektive, die sie eingenommen haben, vorgehen, dabei aber offen dafür bleiben, diese wieder aufzubrechen, um in der Auseinandersetzung mit der Situation neue Bedeutung generieren zu können. Mithilfe einer solchen Haltung können Forschende trotz ihres anfänglichen Framings zu einem immer größeren Verständnis übergeordneter Zusammenhänge gelangen (vgl. ebd., S. 164). Insgesamt zeichnet sich *reflection-in-action* durch das Wechselspiel von Reflexion und Handlung aus, durch das reflektierende Praktikerinnen und Praktiker zu immer komplexeren Lösungsfindungen gelangen: “The process spirals through states of appreciation, action, and re-appreciation. The unique and uncertain situation comes to be understood through the attempt to change it, and changed through the attempt to understand it” (Schön 1983, S. 132). *Reflection-in-action* kann damit als *iterativer* Prozess des „Probefehlens mit spielerischem Charakter“ beschrieben werden. Dabei veruchen die reflektierenden Praktikerinnen und Praktiker aus routinierten „Interpretationsrahmen herauszutreten“ und durch ein tentatives Verändern und experimentelles Erproben des vorliegenden Materials neue Interpretationsrahmen zu entwickeln, und zwar so lange, „bis sich das Gefühl einstellt, dass die Dinge nun ‚zueinanderpassen‘“ (Neuweg 2020, S. 337).

Wie bei DEWEY werden Problemsituationen also verstanden, indem sie aktiv verändert bzw. rekontextualisiert werden, und wie DEWEY geht SCHÖN dabei von der Reziprozität von Reflexion und Handeln aus: "Doing extends thinking in the tests, moves, and probes of experimental action, and reflection feeds on doing and its results. Each feeds the other, and each sets boundaries for the other" (Schön 1983, S. 280). Erst das Hervorbringen eines zufriedenstellenden Handlungsschrittes ("move") bringt Reflexion zum mindest vorübergehend zum Abschluss, dennoch ist *reflection-in-action* im Grunde ein Vorgang mit einem offenen Ende, in dem Denken stets neue Aktionen und Aktionen stets neue Denkprozesse in Gang setzen (vgl. ebd., S. 280). *Reflection-in-action* wie auch der *inquiry*-Prozess entspricht damit eher einer Haltung bzw. einer grundlegenden Denkweise denn einem eingrenzbaren Prozess praktischer Problemlösung.

Eine solche pragmatische Erkenntnistheorie sowie Grundhaltung gegenüber einem Umgang mit Erkenntnis- bzw. Problemsituationen scheint aufgrund der damit verbundenen *relationalen* und *situativen* Denkweise (vgl. Kerres/de Witt 2004, S. 83) auch zentrale Impulse für die bildungsorientierte Auseinandersetzung mit der digitalen Technik bzw. digitalen Medien zu liefern. So beschreiben Michael KERRES und Claudia DE WITT DEWEYS pragmatische Positionierung als Grundlage für die Ermöglichung *bildender* Erfahrung im Umgang mit digitalen Medien und Lernumgebungen, wobei DEWEYS Beschreibung des *inquiry*-Prozesses zugleich Hinweise gebe, *wie* solche bildenden Erfahrungen möglich werden (vgl. ebd., S. 87 und 91). Bildung wird vor dem Hintergrund einer pragmatischen Positionierung als Ergebnis eines *reflektierten Erfahrungsprozesses* gedeutet, in dem Menschen in Interaktion mit ihrer Umwelt und in Gemeinschaft mit anderen Lernenden anhand von „komplexen Ausgangsproblemen“ lernen (ebd., S. 91). In seinem *inquiry*-Prozess zeigte DEWEY, wie „Reflexion in Handlungskontexten“ so angelegt werden kann, dass sie „für künftiges Handeln“, und damit „pädagogisch“ fruchtbar gemacht werden kann (ebd., S. 92).

Zentral für die bildende Erfahrung sind für DEWEY insbesondere die Aspekte der *Kontinuität* ("continuity") und *Interaktion* ("interaction") (Dewey 2008, u. a. S. 33–50). Diese markieren einen Erziehungs- und Lernprozess als kontinuierlichen „Wachstumsprozess“ (Neubert 2004, S. 22), bei dem aus vergangenen Erfahrungen für künftige Erfahrungen gelernt werden kann und der zugleich aus der steten Wechselbeziehung von Individuen mit ihrer Umgebung sowie anderen Menschen entsteht. Individuen sind dabei herausgefordert, jenseits der Erfüllung unmittelbarer Bedürfnisse, auf die jeweiligen Bedingungen ihres Handelns für die Zukunft zu reflektieren und die Konsequenzen von Handlungen für eigene Ziele jeweils situationsbezogen kennenzulernen. *Bildende* Erfahrung entsteht für DEWEY also durch die *Rekonstruktion* und *Reorganisation* von Erfahrungsprozessen ("reorganizing or reconstructing of experience"), die wiederum die Entwicklung von Fähigkeiten zur Steuerung nachfolgender Erfahrungsprozesse ermöglichen (Dewey 2008, S. 71). Diese sind dabei stets an den Umgang mit *konkreten lebensweltlichen Situationen* sowie auch der *dinglichen* Umwelt der Lernenden geknüpft (vgl. ebd., S. 30–40), damit aber auch an die spezifischen zeitlichen und sozialen Kontexte, in denen Erfahrungen

gemacht werden (vgl. Kerres/de Witt 2004, S. 92). Rekonstruktion von Erfahrung bedeutet nach KERRES und DE WITT, dass Erfahrungen, wie sie in Bildungskontexten etwa in der Projektarbeit gewonnen werden, nur als *reflektierte Erfahrungen* künftiges Handeln leiten können, und das geschieht, wenn diese auf bisherige Erfahrungen und künftige Situationen bezogen werden (vgl. Kerres/de Witt 2004, S. 94). Dafür ist aber ein „temporaler Perspektivwechsel“ notwendig, durch den eigenes Handeln sich aus einem anderen Blickwinkel betrachten lässt und damit rekonstruierbar wird. Dadurch können Lernende schließlich erkennen, „wie eigene Erfahrungen entstanden sind“ (ebd., S. 87). Ich gehe davon aus, dass eine Rekonstruktion von Erfahrung mit den *digitalechnischen Dingen*, die die dingliche Umwelt heutiger Lebenswelten prägen, dabei auch jene von DERBOLAV geforderte „ursprüngliche Fraglichkeit“ wiederherzustellen vermag (vgl. Abschnitt 6.1.2). Dabei beziehe ich mich auf jene inzwischen vielfach auch selbstverständlich gewordenen Handlungskontexte mit (digitaler) Technik, bei denen Erfahrungsrekonstruktion, und damit die Reflexion auf die aus diesen Handlungskontexten gewonnenen Erfahrungen, „jenen Selbstbezug zum Wissen“ und zu diesen Handlungen herzustellen vermag, die diese „in Bildung überführt“ (Derbolav 1966, S. 139).

Anschlussfähig für die bildungsorientierte Ermittlung von Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen ist die pragmatische Perspektive, da es dieser nicht primär um „Vermittlung und auch nicht nur um Konstruktion von Wissen“ geht, sondern um Impulse zum Erwerb einer *allgemeinen Methode* einer erfahrungsbasierten Wissensgenese und des erfahrungsbasierten Lernens. Dabei erfordert der bei DEWEY betonte experimentelle Ansatz „Metakognitionen wie Prüfen, Urteilen, Konsequenzen abschätzen“ (Kerres/de Witt 2004, S. 94), die auch für den Umgang mit Unsicherheiten, Nicht-Wissen und Unbestimmtheitsräumen bedeutsam sind. Zudem geht es bei der „Rekonstruktion von Erfahrung“ eben nicht ausschließlich um die Analyse und Dekonstruktion des Erkenntnisgegenstands selbst, sondern vielmehr um die Rekonstruktion der *eigenen Erfahrung mit* diesem Gegenstand. Somit eignet sich der Ansatz meines Erachtens auch in solchen Situationen, in denen artikulierbare Wissensbestände zu einem Gegenstand nicht kommunizierbar sind bzw. Wissensbestände implizit verbleiben, wie dies im Kontext der von Intransparenzen und Opazität geprägten digitalen Technik häufig der Fall ist. Die Rekonstruktion *eigener Erfahrungen* mit digitaler Technik kann dabei zur Entwicklung technischer Intuition beitragen, insofern Lernende dabei lernen, bestimmte Erfahrungen als ein ‚Fall von‘ dieser technischen Konstellation oder des damit verbundenen technischen Handelns wahrzunehmen und damit das digitaltechnische Allgemeine mit dem Besonderen der persönlichen Handlungssituation zu verknüpfen. Entstehen kann dabei ein ‚geschärftes Auge‘ für unterliegende *Muster* und *Konzepte* digitaltechnischer Prozessierung, auch wenn technische Funktionszusammenhänge dabei nicht im Detail artikulierbar sind.

Das Konzept bildender Erfahrung kann zudem auch als pragmatische Konkretisierung des zuvor skizzierten Bildungsziels eines *reflexiven Handlungsvermögens* mit digitaler Technik und digitalen Medien gelten (vgl. Abschnitt 6.1.2), insofern es aus pädagogischer Perspektive darauf abzielt, Lernenden situative, interessengeleitete bzw. lebensweltbe-

zogene Erfahrungsmöglichkeiten mit der Technik (Technik als Mittel) zu ermöglichen, über die sie in Prozessen der Rekonstruktion der dabei gemachten Erfahrungen Konsequenzen technischen Handelns für eigene Handlungsziele und Erkenntnisinteressen reflektieren können (Technik als Erkenntnisobjekt). Technik kann so zu einem ‚persönlichen‘ *epistemischen Ding* werden.

Wie aufgezeigt, gründet DEWEYS Vorstellung bildender Erfahrung auf einem Erfahrungsbegriff, der *Tun* und *Erleiden* in einer Doppelperspektive vorstellt: Erfahrungen, aus denen tatsächlich ‚gelernt‘ werden kann, konstituieren sich aus einem Wechselspiel, in dem eigenes Handeln stets reflexiv mit den aus dem Handeln erwachsenden Konsequenzen verknüpft wird (vgl. Dewey 2008, S. 124). Genau in diesem aktiven Verknüpfen von Tun und seinen Konsequenzen gründet für DEWEY *Reflexion* (vgl. ebd., S. 128). Dieses Verknüpfen kann dabei von einfachen Trial-and-Error-Prozessen bis hin zu Initiativen reichen, die darauf abzielen, Wirkzusammenhänge in Handlungskontexten detaillierter zu ergründen. Zentral für DEWEYS Idee der *Untersuchung* ist dabei vor allem der beständige Prozess der Umformung bzw. Transformation des Untersuchungsgegenstands und für SCHÖN daran anknüpfend die daraus entstehende reflexive ‚Konversation‘ mit dem Gegenstand (Schön 1983, S. 76–104).

Was bedeutet das pragmatische Konzept der reflexiven bzw. bildenden Erfahrung für die Vorstellung einer „Bildung in der digitalen Welt“ und welche Erkenntnisse sind diesbezüglich aus der Analyse digitaltechnikbasierter wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit ableitbar? Zentral für die Beantwortung dieser Frage ist vor allem die Feststellung, dass digitale Technik aufgrund ihrer Flexibilität und inhärenten Offenheit technikimmanente Werkzeuge zur Verfügung stellt, die ein solches Verknüpfen von Tun und Erleiden in und mit den digitalen Tools selbst ermöglicht. Im Folgenden sollen unterschiedliche Wegmarken einer solchen *technikimmanenten* Orientierung aufgezeigt und anhand ausgewählter Ansätze sowie Praxisbeispiele auf ihre Bildungspotentiale hin befragt werden.

6.3 Wegmarken einer Orientierung in der digitalen Welt

6.3.1 Reflektierte Eingriffe als Orientierungsmöglichkeit

Nicht von ungefähr kommt es, dass das Vokabular, das DEWEY und SCHÖN für ihre Konzepte von *inquiry* und *reflection-in-action* nutzen, eines ist, das eine Nähe zur *wissenschaftlichen* Experimentalkultur suggeriert. Die reflexiv Handelnden und reflexiv eine Situation verändernden Praktikerinnen und Praktiker sind stets ‚Forschende in eigener Sache‘. DEWEY sieht die einer experimentellen Untersuchung unterliegende ‚Art experimentellen Spielens mit Dingen‘ (Dewey 1998, S. 90), wie bereits erwähnt, als alltägliche Erkenntnisstrategie forschenden Handelns (vgl. Abschnitt 4.2). Die hier interessierende Frage ist nun, inwiefern diese Form der eingreifenden, Dinge und Handlungssituationen transformierenden Form der *inquiry* Menschen auch als Strategie dienen kann, sich *innerhalb* digitaltechnischer Strukturen zu orientieren bzw. über das eigene Handeln mit digitaler Technik nachzudenken. Also: Inwieweit kann digitale Technik durch *inquiry* und *reflection-in-action* zum Erkenntnis- bzw. Bildungsgegenstand werden? Im Kontext

seiner erkenntnistheoretischen Überlegungen stellte für DEWEY insbesondere die *veränderte Einstellung* gegenüber dem „Material der direkten Sinneswahrnehmung“ einen zentralen Punkt in der von ihm beschriebenen neuzeitlichen Denkrevolution dar (Dewey 1998, S. 92). Erkenntnisobjekte und ihre Materialität werden nicht mehr so hingenommen, wie sie sich dem staunenden Betrachter der Natur präsentieren, sondern sie werden modifiziert, um etwas über sie zu erfahren. Bei dieser modifizierenden Befragung des Materials der direkten Wahrnehmung kommt der Technik zentrale Bedeutung zu, denn mit ihr wird es überhaupt erst möglich, „bewußt (sic!) die Bedingungen [zu] ändern, unter denen wir [...] beobachten“ (ebd., S. 87). Mit einer inhärent offenen und interpretativ flexiblen Technik wie der digitalen Technik wird aber das Verändern und Manipulieren von Erkenntnisgegenständen in einen virtuellen, symbolischen Experimentalraum verlagert, der geradezu zum tentativen, spielerischen und produktiven Handeln mit ihr ‚einlädt‘. Der Informatiker Reinhard KEIL postulierte für den Computer, dass mit diesem erstmalig in der Mediengeschichte „das Objekt der Wahrnehmung auch unmittelbar zum Objekt der Manipulation werden“ konnte (Keil 2006, S. 67; zit. nach Knaus/Engel 2015, S. 24), da die über den Computer als Medium zum Erscheinen gebrachten Wahrnehmungsinhalte und Repräsentationsformen in diesem auch direkt verändert werden können. Auch der Manipulationsweg wurde durch das Konvergieren von Darstellungs- und Manipulationsmitteln in einem Gerät kürzer und hat sich heute mit mobilen Geräten wie Smartphones und Tablets als persönliche und bewegliche All-Purpose-Geräte nochmals weiter verkürzt.

Durch das Verändern der „sichtbaren und gegebenen Qualitäten“ zeigen sich Untersuchungsgegenstände dabei als „Wirkungen“, die verstanden werden können, wenn im aktiven Tun ersichtlich wird, „wie sie hervorgebracht werden“ (Dewey 1998, S. 106). Die Annahme, der ich in der folgenden, diese Studie abschließenden Analyse nachgehe, ist nun, inwieweit – auch angesichts ihrer Intransparenzen – dieses verändernde *Spielen mit den digitaltechnischen Dingen* Aufschluss auf *deren Genese* geben kann, und damit ihre „ursprüngliche Fraglichkeit“ reflexiv einholbar wird. Wie können Nutzerinnen und Nutzer digitaler Technik zugleich ‚Erforschende‘ dieser Technik werden? Welche Reflexionsanlässe können dabei auch durch pädagogisch-gestaltende Maßnahmen ermöglicht werden?

Wie bereits diskutiert, zeigte Heidi SCHELHOWE, dass sich der „doppelte Charakter“ des Computers nicht so sehr durch seine einerseits sichtbare und andererseits von Unsichtbarkeiten und Intransparenzen geprägte Seite auszeichnet, sondern vielmehr durch die Dualität von *Abstraktion* und *Konkretion*: Auf der einen Seite werden Objekte und Prozesse zwar auf abstrakte Modelle reduziert, auf der anderen Seite jedoch zeigt digitale Technik aufgrund ihrer medialen Oberflächen und Interfaces Nutzenden ein „konkretes Gesicht“ und ermöglicht dadurch auch einen „höchst konkreten Umgang“ mit jenen Abstraktionen (Schelhowe 2011, S. 352). Damit werden aber *Erfahrungen mit* der Technik auch dann möglich, wenn ihre Oberflächen keine tiefere Einsicht in das Innere der Technik gestatten. Christoph RICHTER und Heidrun ALLERT (2024) sprechen in diesem Zusammenhang auch von der „praktischen Aneignung repräsentationaler Formen“, denn

gerade die „Abschirmung des technischen Kerns datenbasierter Technologien“ mache es erforderlich, sich diese über deren „jeweilige repräsentationale Form zu erschließen“ (ebd., S. 48), damit aber über ihre medialen Oberflächen sowie die Möglichkeit, über jene Oberflächen und Benutzerschnittstellen mediale Repräsentationsformate, wie Texte, Visualisierungen, Videos und weitere, auch selbst zu gestalten. Außerdem werden dadurch, dass digitale Technik bzw. Digitalcomputer heute auch zahlreiche Alltagsgegenstände „bevölkern“, digitale Objekte zunehmend „greifbar“ und darüber unter Umständen auch „be-greifbar“ (Robben/Schelhowe 2012b, S. 8 f.).

Bildend wird eine solche be-greifende Erfahrung nach DEWEY aber erst dann, wenn der Erfahrungsprozess schließlich ‚rekonstruiert‘ und damit reflektiert wird, wenn im Wechselspiel von Tun und Erleiden auf die *Konsequenzen* des eigenen Handelns mit der Technik reflektiert wird. Auf ein ähnliches Wechselspiel von Handeln und Denken weist Heidi SCHELHOWE beispielsweise in Bezug auf die Arbeit von Edith ACKERMANN (1996), die das Wechselspiel zwischen immersiver Erfahrungskonstruktion und distanzierender Reflexion mit ‚Diving in‘ und ‚Stepping out‘ bezeichnet hatte (Schelhowe 2007a, S. 154). In einem von SCHELHOWE vorgestellten Projektbeispiel „tauchen“ die Lernenden buchstäblich und „mit grosser (sic!) Begeisterung in die Interaktion“ mit dem technischen Objekt ein (Schelhowe 2016, S. 54). In dem Projekt *Der Schwarm* wurde in einer Installation ein über einen spezifischen Algorithmus gesteuertes Schwarmverhalten simuliert. Der Schwarm bestand aus Lichtpunkten, die über einen Projektor auf den Boden projiziert werden konnten und die auf Bewegungen reagierten (vgl. ebd., S. 52–54). Dem Schwarmverhalten konnten die am Projekt teilnehmenden Heranwachsenden dadurch nachgehen, dass sie körperlich mit diesen Lichtpunkten interagierten. Dabei entstanden aber auch schnell Fragen zum Zustandekommen dieses Schwarmverhaltens (vgl. ebd., S. 54). Zur Beantwortung dieser Fragen konzipierte das Projektteam eine Administrationsoberfläche, über die sich die unterliegenden Schwarmalgorithmen manipulieren und nachverfolgen ließen. So ließen sich über die Oberfläche unterschiedliche Parameter konfigurieren, über die Nutzende das Verhalten der Lichtpunkte ändern und den unterliegenden Algorithmus auch technisch erproben konnten. Das Projektteam, so SCHELHOWE, nutzte dabei die „Möglichkeiten des Mediums Computer selbst, um über Simulation und Parametersteuerung“ (ebd., S. 54) ein immersives und zugleich rekonstruktives Erproben des Algorithmus zu ermöglichen. Über die Benutzeroberfläche konnten sich Nutzende von der immersiven Erfahrung innerhalb der Installation distanzieren („Stepping out“), dabei aber dennoch weiterhin experimentell den Mechanismen des Algorithmus über ein Rekonfigurieren seiner Parameter nachspüren. Mit Blick auf die hiesige Auseinandersetzung kann gesagt werden, dass es vor allem die inhärente Offenheit, interpretative Flexibilität und Programmierbarkeit digitaler Technik ist, die in diesem Beispiel sowohl die immersive als auch die reflexive Erfahrung mit der Technik ermöglichten. Mikroprozessoren und damit verbundene Software und Anwendungen als generische Technik lassen sich heute mit allen möglichen Alltagsgegenständen verbinden – hier: mit dem Projektor und den damit verbundenen Lichtpunkten sowie der dafür genutzten Administrationsoberfläche. Diese Möglichkeit erlaubte die Einrichtung eines für die Projektteilneh-

menden niedrigschwelligen Experimentalsystems, über das diese den digitaltechnischen Mechanismen sowohl immersiv als auch über eigene Konfigurationen und Rekonfigurationen der Parameter nachgehen konnten und so ein ‚Gespür‘ für die dem Algorithmus unterliegenden Muster und Konzepte entwickeln konnten.

Das von SCHELHOWE in Rekurs auf ACKERMANN aufgezeigte Wechselspiel von ‚Diving in‘ und ‚Stepping out‘ findet sich ähnlich auch bei POLANYI wieder. Für POLANYI, der ja keineswegs das explizite, analytische Wissen diskreditieren wollte, sondern die grundlegende Bedeutung des impliziten Wissens zu betonen suchte, ist die „Pendelbewegung zwischen Detaillierung und Integration“, also das Wechselspiel analytischer und impliziter Modi der Welterschließung, der „Königsweg“ jeglicher Verstehensprozesse (Polanyi 1997, S. 333; zit. nach Neuweg 2020, S. 242), der zu einem tiefgreifenderen Verständnis eines Problemzusammenhangs führen kann (vgl. Polanyi 1969, S. 125). Wichtig ist POLANYI dabei die Vorgängigkeit impliziter Modi des Verstehens, insofern die ‚logical premises of factuality are not known to us or believed by us before we start establishing facts‘ (Polanyi 2002, S. 162). Daran anknüpfend lässt sich auch erfolgreiches Handeln, wie bereits erwähnt, oft erst dann explizieren, „nachdem Handeln erfolgreich war“ (Neuweg 2020, S. 215). Im Hinblick auf die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten innerhalb digitaltechnischer Strukturen bedeutet dies, dass Verstehensprozesse im Hinblick auf die Technik auch nicht allein auf Grundlage der ‚Vermittlung‘ expliziten, propositionalen Wissens entstehen, sondern in Rekurs auf DEWEY (1938) und SCHÖN (1983) erst, *nachdem* aktiv in die jeweiligen Erkenntnisgegenstände *eingegriffen* wurde, nachdem technische Konstellationen verändert, justiert bzw. konfiguriert wurden und diese damit einer ersten Erprobung unterzogen wurden. Thomas KNAUS (2022) sowie KNAUS und Jennifer SCHMIDT (2020) haben diesen Gedanken vor allem mit Blick auf den handlungsorientierten Grundgestus der Medienpädagogik (vgl. Baacke 1996, S. 113–119; vgl. Schorb 2017) auch für die *Reflexion digitaler Technik* aufgegriffen. Aus medienpädagogischer Perspektive stellen KNAUS und SCHMIDT dabei in ihrer Konturierung von *Medienpädagogischem Making* einen ähnlichen Zusammenhang zwischen dem aktiven und gestaltenden Eingriff in die Technik und dessen Reflexion her, den sie ebenfalls in Rekurs auf DEWEY begründen (vgl. Knaus/Schmidt 2020, S. 15 f.; vgl. auch Knaus 2022, S. 58). Dabei stellen sie das Wechselspiel von ‚Machen‘ in Form medientechnischen Gestaltens und die Reflexion des dabei Entstandenen in ein für die pädagogische Perspektive weiterführenden Zusammenhang: Sie argumentieren, dass es gerade die reflexive Bezugnahme ist, die Making, das Machen, überhaupt erst zu einer pädagogischen bzw. bildungsbezogenen Kategorie werden lässt. Zugleich werde Reflexion aber gerade im Kontext von Making-Initiativen häufig unterschlagen. Aus einer pädagogischen bzw. medienpädagogischen Sicht fordern sie daher, die reflexive Seite des postulierten Wechselspiels zu stärken. KNAUS, SCHMIDT und Olga MERZ stellen in ihrem Beitrag *Reflexion durch Aktion* daran anknüpfend unterschiedliche Strategien der ‚eingreifenden‘ und transformierenden Auseinandersetzung mit digitaler Technik vor, die besonders dazu geeignet erscheinen, technikimmanente Reflexionsanlässe zu produzieren. Reflexion ist hier stets ein in die Vollzüge des technischen Handelns und Gestaltens eingebundener Bestandteil.

Diese Strategien haben sie mit dem *tentativen*, *Herantasten*‘ an die Technik, *Tinkern*, *Coding*, *Making*, und *Hacking* beschrieben (vgl. Knaus/Schmidt/Merz 2023, S. 5). Auf einige dieser reflexiven Gestaltungsstrategien gehe ich im weiteren Verlauf noch beispielhaft ein. Wie genau entstehen aber Reflexionsprozesse im Kontext des Umgangs mit digitaler Technik? In DEWEYS *inquiry*-Prozess bildet vor allem die *unbestimmte*, unsichere und vage Ausgangssituation den Anlass für den Beginn einer Untersuchung.

6.3.2 Unbestimmtheit und Scheitern als Reflexionsanlässe

Die Möglichkeiten bildender Erfahrung stellt DEWEY sich nicht in der Form abstrakter „Strategien eines Wissensmanagements“ vor, sondern stets im Kontext der Herstellung eines Bezugs zur „Erfahrungswelt der Lernenden“ (Kerres/de Witt 2004, S. 94). Dazu gehört auch, dass bildende Erfahrungen sowie auch der *inquiry*-Prozess an für die Lernenden oder Forschenden bedeutsamen, jedoch zugleich unbestimmten, vagen Situationen ihren Ausgang nehmen. KERRES und DE WITT weisen darauf hin, dass in der erziehungswissenschaftlichen bzw. didaktischen Literatur gerne alle Lernaufgaben, die Situations- oder Fallbezüge aufweisen als „problembasiert“ gekennzeichnet werden (ebd., S. 92), DEWEY damit aber eine viel spezifischere Situation anspricht. Problemsituationen, die einen Prozess der *inquiry* auslösen können, entstehen durch Situationen, die „uncertain, unsettled, disturbed“ (Dewey 1938, S. 105) sind, also aus Situationen der Unsicherheit und Irritation bzw. durch Störungen. Mit RHEINBERGER ließe sich hier auch argumentieren, dass Gegenstände durch ihre *Unbestimmtheit* überhaupt erst zu epistemischen Dingen werden. Auch für RHEINBERGER sind epistemische Objekte von einer „charakteristischen, irreduziblen Verschwommenheit und Vagheit“ bestimmt (Rheinberger 2006, S. 27). Dabei geht es RHEINBERGER darum, wissenschaftliche Erfahrung als eine stets „im Werden begriffene [...]“ zu markieren, deren Unbestimmtheit aber nicht „defizitär, sondern handlungsbestimmend ist“ (ebd., S. 27). *Forschen* – oder in diesem Fall *inquiry* – bedeutet in diesem Kontext, es stets mit etwas *Vorläufigem* zu tun zu haben, insofern epistemische Dinge paradoxe Weise das verkörpern „was man noch nicht weiß“ (Rheinberger 2006, S. 28).

Dabei ist es heute auch die stets im Werden begriffene digitale Technik, die in ihrer Entwicklungsgeschichte, ihren steten Versionierungen, „Updates“ und Rückbettungen in immer neue (Wissens- und Lebens-)Kontexte von einem beständigen, eigentlich unabsließbaren Entstehungscharakter geprägt ist und die damit auch stets epistemisches Ding bzw. Erkenntnisobjekt ist. Computer und digitale Technik sind einerseits „präsent“ im Sinne des HEIDEGGER’schen „zuhanden“, andererseits aber auch immer „abwesend“ in dem Sinne, dass sie stets Forschungs- und Entwicklungsobjekt sind und damit gerade nicht „zuhanden“, sondern „problematisch“ (Knorr Cetina 1998, S. 96). Zur Folge hat dies jedoch, dass digitale Technik nie ausschließlich als Antwort-, sondern stets auch als Fragemaschine fungiert (vgl. Gramelsberger 2010, S. 273 f.; vgl. auch Merz 2002, S. 280; Rheinberger 1992, S. 72, 2006, S. 33 f.). Gerade im „Computerlabor“ erweist sich Erkenntnisarbeit als eine, die sich durch die „permanenter Verbesserungen und Tests“ am Experimentalsystem selbst sowie das beständige „Einrichten, Justieren und Verändern“

(Gramelsberger 2010, S. 225) der technischen Systeme auszeichnet und in der sich digitale Technik nicht nur als Antwortmaschine, sondern als beständige Fragemaschine erweist (vgl. Abschnitte 5.2.6).

Zugleich kommt den dabei sich vollziehenden erprobenden, tentativen Strategien der Welterschließung nicht nur in der wissenschaftlichen, sondern auch in der bildungsbezogenen Erkenntnisarbeit eine entscheidende Bedeutung gerade auch im Umgang mit komplexen Problemstellungen zu. Im Kontext des von Winfried MAROTZKI und Benjamin JÖRISSEN entworfenen strukturalen Bildungsbegriffs beruht *Bildung* auf Prozessen „tentativer Wirklichkeitsauslegung“ und zielt darauf ab, die „Unbestimmtheitsdimensionen“ von Wirklichkeitsauslegung zur Geltung zu bringen (Marotzki 1990, S. 153). Als *Tentativität* bezeichnen JÖRISSEN und MAROTZKI die „Art des suchenden, immer unter dem Vorbehalt des ‚Als-ob‘ agierenden Selbst- und Weltverhältnisses“, dabei „finde“ oder „erfinde“ das Individuum Regeln, die „etwas zunächst unverständliches Neues zu etwas Verstehbarem [...] machen“ (Jörissen/Marotzki 2009, S. 19).

JÖRISSEN und MAROTZKIs Bildungsbegriff „lebt vom Spiel mit den Unbestimmtheiten“, denn dieses eröffnet gerade den in pluralen Gesellschaften benötigten „Zugang zu Heterodoxien, Vieldeutigkeiten und Polymorphien“ (Jörissen/Marotzki 2009, S. 20 f.). Ein solches Spiel mit Unbestimmtheiten kann auch in der ‚interpretativen Verwicklung‘ von Erkenntnissubjekten mit den technischen Systemen erfolgen, deren Strukturvorschläge Anlass zum ‚Weiterdenken‘, aber auch Anlass zur Befragung der unterliegenden Strukturen technischer Systeme selbst geben können. Heidrun ALLERT und Michael ASMUSSEN bezeichnen *Unbestimmtheit* als zentrale Reflexionskategorie für ein Verständnis des Zusammenhangs von digitalem Wandel und Bildung (vgl. Allert/Asmussen 2017, S. 27). Gerade unbestimmte Situationen können analytisch häufig nicht durchdrungen werden, Handlungen in diesen Situationen beruhen vielmehr auf einem „Ausloten von Handlungsoptionen, von Veränderbarkeit und Grenzen“ (ebd., S. 35). Dabei müssen Menschen kreativ und produktiv werden, das heißt an etwas „herumbasteln“, etwas „erschaffen“, bzw. „trickreich“ damit herumspielen, „um zu erkennen, was ist und in welcher Situation wir uns befinden“ (ebd., S. 35). In unbestimmten Situationen – wie dies auch im Kontext opaker algorithmischer Prozesse der Fall ist – wird das trickreiche Konfigurieren und Rekonfigurieren zur grundlegenden Orientierungsstrategie, wie u. a. im Kontext der Computersimulation ersichtlich wurde (vgl. Abschnitt 5.2.6). „Das Herumspielen mit dem System“, aber auch „Austricksen, Subversion und Tinkern“ sowie „die eigensinnige Nutzung, der kreative Akt zur Erkenntnis, das bricolageartige Umnutzen“ können hier als Ausdruck „emanzipativen Handelns mit Technologien“ gewertet werden (Allert/Asmussen 2017, S. 35), die genau dann weiterführend sind, wenn den technischen Systemen analytisch nicht mehr beizukommen ist. Sie markieren zudem dediziert *technikimanente*, durch systemeigene Mittel entstehende, Möglichkeiten einer reflexiven Auseinandersetzung mit der Technik, insofern die Flexibilität und inhärente Offenheit digital-technischer Strukturen ein solches trickreiches Spielen mit ihr geradezu anbieten (vgl. Abschnitt 5.2.1). Die genannten Praktiken beruhen dabei nicht selten auf dem Wechsel-

spiel von Versuch und Scheitern. Gerade das Scheiterkönnen und Scheiterndürfen kann dabei aus bildungsorientierter Perspektive als wichtige Voraussetzung für Orientierungsmöglichkeiten – nicht nur in der digitalen Welt – betrachtet werden, wie im Folgenden skizziert werden soll.

In seiner Habilitationsschrift rekurriert MAROTZKI (1990) bei der Konturierung einer strukturalen Bildungstheorie u. a. auch auf DAN SPERBERS (1975) ethnologische Abhandlung *Über Symbolik*. SPERBER markiert das Verhältnis von Bestimmtheit und Unbestimmtheit als Spannungsfeld von semantischem und enzyklopädischem Wissen auf der einen Seite und symbolischem Wissen auf der anderen Seite. SPERBER unterscheidet drei Wissenstypen: In Anlehnung an KANTS analytisches Urteil meint das *semantische Wissen* ein Wissen, das auf Begriffskonventionen beruht, bei dem das Prädikat dem Subjekt immanent ist, wie bei der Aussage „Die Kugel ist rund“. Verändert werden kann semantisches Wissen nur durch eine konkurrierende Semantik, also einen dedizierten Akt der Verdrängung des Alten, nicht jedoch empirisch, indem dessen Richtigkeit widerlegt wird. Als zweiten Wissenstyp nennt SPERBER das *encyklopädische Wissen*, das er an KANTS synthetisches Urteil anknüpft und das Weltbezüge vermittelt durch die Wahrnehmung herstellt. Enzyklopädisches Wissen ist damit abhängig von der Erfahrung und gilt, bis es empirisch widerlegt wird. Das enzyklopädische Wissen ermöglicht dabei ein „routinemäßiges“ Einordnen des semantischen bzw. analytischen Wissens, „bei dem Erfahrung gleichsam widerstandslos unter vorhandene Rahmungen, die biographisch vertraut und sozial validiert sind, subsumiert wird“ (Marotzki 1990, S. 151). Für KOKEMOHR, so interpretiert es MAROTZKI, stellt eine solche subsumtive Erfahrungsverarbeitung einen Lernprozess dar, „in dem es um Evokationen des aktiven Gedächtnisses [...] und die Ratifizierung eines eingespielten Verstehenskalküls geht“ (ebd., S. 151). Symbolische Welterschließung – SPERBERS dritter Wissenstyp – beginnt dagegen dort, wo die Routinen subsumtionslogischer Welterschließung bzw. eines „eingespielten Verstehenskalküls“ scheitern. Symbolisch werde ein Inhalt dann, wenn die darin enthaltene „Interpretation nicht problemlos dem erworbenen Wissen eingegliedert werden kann“ und wenn „überschüssige Gehalte“ auftreten (Kokemohr 1985, S. 210). Dabei kann in der Interpretation MAROTZKIS gerade dieser Überschuss Sinn zu einem Überschreiten von „Schemata der Weltaneignung“ (Marotzki 1990, S. 151) und damit zu Bildung im transformatorischen Sinne führen. Es sind ja gerade die Inhalte und Wissensbestände, die sich nicht länger subsumtiv in die eigenen Wissensbestände assimilieren lassen, an denen im Sinne des transformatorischen Bildungsbegriffs höherstufige Formen des Lernens und damit Bildung stattfinden können. Damit einher geht aber, dass eingespielte Verstehensroutinen zunächst scheitern (müssen).

Im allgemeinen Sprachgebrauch sind *negative Erfahrungen* wie die des Scheiterns, der Irritation und der Enttäuschung unerwünschte Erfahrungen, die mit „unangenehmen Überraschungen verbunden sind“ (Benner 2020, S. 55). Im Rahmen von Bildungsprozessen kommt negativer Erfahrung aber auch eine konstruktive, ja geradezu konstitutive Bedeutung zu, bei der berücksichtigt wird, „dass sich erziehende und bildende Erfahrung

generell durch eine Negativität auszeichnen, ohne die Lernen [...] nicht möglich wäre“ (Benner 2020, S. 56; vgl. auch Koller 2018, S. 79–86). Diesbezüglich bezieht sich Hans-Christoph KOLLER an anderer Stelle u. a. auf den POPPER’schen Falsifikationismus, demzufolge neue Erkenntnisse und neues Wissen nur „negativ“ gewonnen werden können, nämlich dann, wenn vorläufige Aussagen widerlegt werden (Koller 2007, S. 53). Aus dem Falsifikationismus sei KOLLER zufolge für eine theoretische Fassung transformatorischer Bildungsprozesse zunächst nur die Feststellung abzuleiten, dass das „Scheitern eines bisher gültigen oder ‚bewährten‘ Welt- und Selbstverständnisses bei der Konfrontation mit neuen Erfahrungen bzw. Problemen“ zwar eine Bewährungsprobe bisherigen Wissens darstelle, allerdings noch nicht aufzeige, „wie aus diesem Scheitern neues Wissen“ gewonnen werden könne (ebd., S. 53 f.). An anderer Stelle bezeichnet POPPER eine „Fehlerkultur“ als „die wichtigste Methode der Technologie und des Lernens überhaupt“ (Popper 1994, S. 256 f.). Mit seinem Konzept der bildenden bzw. reflexiven Erfahrung stellt DEWEY allerdings dem POPPER’schen Lernen durch Trial and Error eine Form des Lernens entgegen, das „mehr als ein bloßes ‚Probieren‘, aber auch mehr als ‚Routine‘“ (Benner 2020, S. 123) darstellt, die der epistemisch produktiven Fehlerkultur und Fehleranalyse, wie sie auch im Kontext der Analyse digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit sichtbar wurde (vgl. Abschnitt 5.2.6), eine spezifisch bildungsorientierte Dimension hinzuzufügen vermag. BENNER erläutert dazu: „Die Fähigkeit, negative Erfahrungen nicht nur zu machen, sondern mit ihnen auch transformatorisch und reflektierend umzugehen, könnte von daher eine basale methodische Fähigkeit sein, die in einem noch zu entwickelnden Sinne nicht nur für Erziehungs- und Bildungsprozesse konstitutiv ist, sondern auch zwischen verschiedenen pädagogischen Handlungsformen vermittelt und Übergänge von den einen in die anderen möglich macht“ (Benner 2020, S. 61).

Für die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten „in der digitalen Welt“ sind daher, wie auch in anderen Lern- und Bildungsbereichen, die Ermöglichung einer produktiven und zugleich pädagogisch einholbaren Fehlerkultur von entscheidender Bedeutung, in der das ‚Lernen aus Fehlern‘ zum wichtigen Teil erfahrungsbasierten Lernens wird. Eine solche wird hinsichtlich eines bildungsorientierten Umgangs mit digitaler Technik beispielsweise in Initiativen des pädagogisch orientierten *Makings* und der Makerspace-Bewegung hervorgehoben (vgl. Knaus/Schmidt 2023, S. 27; Schön/Ebner/Martin 2019, S. 13). In dieser ist das Fehlermachen konstitutiver Teil von Bildungsprozessen und „debugging“ zentrale epistemische Praktik (Papert 2020, S. 197). Fehler werden hier also nicht als defizitär, sondern als erkenntnisweiternd gedeutet. Dazu passt es, dass auch im Kontext der Programmierung die Tradition existiert, „Fehler nicht als Versagen anzusehen, sondern als korrigierbare Programmfehler (bugs)“, Debugging-Strategien zu erlernen gehört dabei zu den zentralen Programmierpraktiken (Resnick 2020, S. 185). „Ausprobieren, Fehler machen, aus Fehlern lernen, erneut probieren“, so erklärt Heidi SCHELHOWE in ihrem Buch *Technologie, Imagination und Lernen*, scheint der Entwicklung digitalisierungsbezogener Fähigkeiten angemessener zu sein, als ein „systematischer Zugang“ (Schelhowe 2007b, S. 29).

Nun lässt sich aber mit Blick auf technische Expertensysteme (vgl. Schulz-Schaeffer 2000) behaupten, dass ihre Leistungsstärke ja gerade darin besteht, Wirkzusammenhänge und Routinen so zu objektivieren und zu ‚blackboxen‘, dass diese von Menschen möglichst reflexionslos als Ressourcen für eigenes Handeln nutzbar sind. Daran anknüpfend habe ich in Rekurs auf GEHRING und LUHMANN die Frage gestellt, wie in einer solch routinisierenden Technik Unterbrechungen bzw. Störungen eingeführt werden können, die für ein *Verstehen des Kontextes* ihres Funktionierens bedeutsam sein könnten (vgl. Abschnitt 2.2.2). Eine solche müsse für „*Distanz* zu ihrem eigenen Funktionieren“ sorgen, das heißt, ein „Ineinander von Widerstandslosigkeit und Widerständigem“ in Form von „*Distanzierungsanlässen*“ (Gehring 2007, S. 357), und damit eine Form des „*Stepping out*“ (Schelhowe 2007a, S. 154) ermöglichen. SESINK zufolge ist es das „*Nicht-Gelingen* der Praxis in ihrer Unmittelbarkeit, welches das Bedürfnis erzeugt, der ‚Sache‘, die sich dann als ein Problem darstellt, auf den Grund zu gehen“ (Sesink 2006/2007, S. 48). Kurz: Das Stören oder Scheitern von Routinen erzeugt Reflexionsanlässe (vgl. auch Knaus 2013). Soll nun zu den häufig reflexionslos genutzten sowie schwer einsehbaren technischen Routinen ein reflexives Verhältnis entwickelt werden, so gilt es in bildungsorientierter Perspektive auch, dediziert Anlässe für ein Unterbrechen technischer Routinen zu schaffen, die ein Nachdenken über diese erlauben. Dies kann vor allem durch Praktiken der kreativen *Umnutzung* und Resignifikation technischer Funktionalität erreicht werden, so beispielsweise, wenn Technik nicht als funktionales Mittel, sondern als *Gestaltungsobjekt*, als ‚Spielzeug‘ oder aber im Rahmen ästhetischer Prozesse zum Einsatz kommt.

6.3.3 Ästhetische Erfahrung, Spiel und Konstruktion als technikimmanente Reflexion

Peter EULER (1999) hat die im bildungsbürgerlichen Denken verwurzelte Trennung technischer Weltentwürfe und ästhetischer Gestaltung kritisiert und als eine weitere Folge jener bereits beschriebenen Aufspaltung eines kulturellen Selbstverständnisses in die Sphäre der Mittel (Technik) und die Sphäre der Zwecke (Kultur, Bildung) markiert (vgl. Abschnitte 2.1 und 6.1.2). Bei der Verortung der Technik in die Sphäre der Mittel werde einerseits der spekulativen *Gestaltungs- und Entwurfscharakter* der Technik verkannt, zugleich aber auch die Idee von „*Gestaltung*“ in einer irreführenden und „*von der Produktion und Reproduktion abgehobene[n] Sphäre der Ästhetik*“ verortet. Gestaltung aber allein der „*Sphäre der Kunst*“ und der Ästhetik zuzuordnen, muss EULER zufolge als „*politisches Moment im bürgerlichen Kulturverständnis*“ (Euler 1999, S. 220) gewertet werden. Zur Folge hatte eine solche Vorstellung die „*Sterilisierung der Technik*“, die, „*abgelöst von gesellschaftlicher Einbildungskraft*“, überhaupt erst zu einer „*Sphäre bloßer Mittel*“ abgewertet werden konnte. Zugleich werde dadurch aber auch die Kunst selbst aus der „*Wirklichkeit gesellschaftlicher Produktion*“ sowie „*technologischer Entwicklung*“ ausgegrenzt (ebd., S. 221). Weltgestaltung, und damit das Prinzip, in dem auch *Bildung* begründet ist, wird EULER zufolge aber nur durch die Aufhebung dieser dichotomischen Kulturverfassung möglich.

Der Begriff der *Gestaltung* nimmt in EULERS Überlegungen eine zentrale Stellung ein und ist für ihn Ausdruck einer neuen Deutung des Begriffs der *Mündigkeit* vor dem Hintergrund des Durchdringungscharakters von Technik. Angemessener als die Rede vom (technischen) Mittel sei daher für eine kritische Bildungstheorie das „Konzept der *Technikgestaltung*“, die EULER „als die technologische Weiterung des pädagogisch-politischen bzw. pädagogisch-soziologischen *Begriffs der Mündigkeit*“ versteht (Euler 1999, S. 185; H. i. O.). Denn erst im Begriff der Gestaltung manifestiere sich eine „Form des Handelns“, dem „der Zweck nicht äußerlich, sondern immanent, eben selbstbestimmt ist“. Gestaltung als im bürgerlichen Denken noch rein *ästhetische Dimension*, kann dabei nicht länger „in einem idealen kulturellen Gegenraum“ verbleiben, sondern muss ins „Zentrum der (selbst- und weltgestaltenden) Technologieentwicklung“ rücken (ebd., S. 185). Während der Begriff der Mündigkeit häufig noch im tradierten Kulturdualismus verbleibe, zielt EULERS Analyse darauf ab, die Idee der *Mündigkeit* im Begriff der Gestaltung „auf die objektiv veränderten technologischen Bedingungen hin“ zu erweitern (ebd., S. 186).

Daran anknüpfend gehe ich jedoch davon aus, dass in der digitalen Technik technische Weltgestaltung und ästhetische Produktion zunehmend konvergieren. Zunächst sind aufgrund ihrer generischen Struktur und zugleich generativen Möglichkeiten zahlreiche Gestaltungsprozesse – sowohl technische als auch ästhetische – mit digitaler Technik möglich: So lassen sich darüber Algorithmen und Softwareprodukte genauso wie Bilder und Videos produzieren, mediale Produktionen in immer neuen Kontexten wiederaufführen sowie Techniken und Verfahren immer wieder neu miteinander kombinieren. Und der Ausbau digitaltechnischer Infrastrukturen wird zum Motor der Genese einer *Kultur der Digitalität* (Stalder 2017) als weit vernetzte Kultur- und Wissensgemeinschaft. Von dieser Verwicklung von Technik und Kultur bzw. Technik und Ästhetik geht selbst ein tiefgreifender weltgestaltender Impetus aus, zugleich aber auch das Potential, diesen Weltgestaltungsprozess über ebenjene Kombination technischer und kultureller Prozesse sowie technischer und ästhetischer Prozesse *begreifbar* zu machen. In den folgenden Beispielen soll exemplarisch diskutiert werden, inwiefern im Kontext ästhetischer, gestaltender, aber auch spielerisch-kreativer Prozesse mit und innerhalb digitaltechnischer Strukturen die Entwicklung eines erfahrungsbasierten reflexiven Verhältnisses zur Technik mit ‚systemeigenen Mitteln‘ möglich wird.

Ästhetische Erfahrung und Remix

Reflexion wird oftmals in der Form verbal-argumentativer Reflexionsprozesse und Kritikfähigkeit gedacht, solche verbal artikulierten Reflexionsformen erscheinen aber ange-sichts einer sich dem Menschen zunehmend kognitiv entziehenden digitalen Technik als ungenügend. Demgegenüber können auch ästhetische Prozesse Formen der Reflexion eröffnen, über die Orientierung innerhalb digitaltechnischer Strukturen *erfahrungsbasiert*, das heißt in Interaktion mit ästhetischen Produktionen bzw. im Rahmen ihrer Herstellung stattfinden kann. Benjamin JÖRISSEN und Lisa UNTERBERG heben diesbezüglich die Potentiale gerade der *Kulturellen Bildung* hervor: „Als einzelne Person kann man den Phänomenen auch mit anspruchsvoller informationstechnischer Bildung nicht angemessen

begegnen. Und genau hier liegt das Potenzial der Kulturellen Bildung. Wir können der digitalen Revolution und den damit einhergehenden Phänomenen nicht bzw. nur sehr eingeschränkt und punktuell kognitiv begegnen. Zugleich verändern sie aber nicht nur unsere technischen Infrastrukturen, sondern unsere Kulturen. Digitalisierung manifestiert sich nicht nur informationell, sondern gleichermaßen ästhetisch-kulturell [...] sie verändert kulturelle Formen, Ästhetiken, Wahrnehmungsweisen. In der Digitalisierung von Kultur und Ästhetik und einer Digitalen Kulturellen Bildung liegt das Potenzial, Digitalisierung im Rahmen ästhetischer Prozesse und Vollzüge umfassender zu erfahren und zu verstehen, als es mit bloßen kognitiven Mitteln möglich wäre“ (Jörissen/Unterberg 2017/2019, o. S.).

Auch für DEWEY, der seine Vorstellung von *Erfahrung* auch in seiner ästhetischen Schrift *Kunst als Erfahrung* aufgreift, lässt sich ästhetische Erfahrung „nicht scharf von der intellektuellen trennen“; auch genuine „Denkerfahrungen“ haben beispielsweise „ihren eigenen ästhetischen Charakter“. Sie unterscheiden sich lediglich durch die Eigenschaften des „Materials“, mit denen sie gemacht werden. Im Gegensatz zum stofflichen Material der „Schönen Künste“ besteht das Material von Denkerfahrungen in „Zeichen und Symbolen ohne eigenständige Qualität“, die im Kontext ästhetischer Erfahrung aber auch „qualitativ erlebt werden können“ (Dewey 2021, S. 50 f.). Jede Erfahrung, ob Denkerfahrung oder Erfahrung im Rahmen der künstlerischen Gestaltung, resultiert DEWEY zufolge aus dem Wechselspiel von Tun und Erleiden, bei dem, wie skizziert, Handlungen und ihre Folgen „in der Erkenntnis miteinander in Verbindung“ gebracht werden (ebd., S. 57). Aufgrund der Flexibilität und inhärenten Offenheit digitaler Computertechnik gehe ich davon aus, dass sich Reflexionen im Sinne von „Denkerfahrungen“ und ästhetische Erfahrungen innerhalb digitaler Strukturen in besonderer miteinander Weise verknüpfen lassen. Ästhetische Praktiken können insofern *Erfahrungsmöglichkeiten* mit digitaler Technik eröffnen, als dass gerade „die ästhetisierte und mediatisierte Kultur eine wesentliche Anwendungssphäre digitaler Technologie darstellt“ (Jörissen/Unterberg 2019, S. 19). Populäre Artikulationsformen wie Remixes, Memes, Reels, Videos und andere, die durch die Anwendung digitaler Technik möglich werden, entstehen häufig im Kontext ästhetischer Formate und Ausdrucksformen. Sie werden auf Online-Plattformen ausgetauscht und ihre Bedeutungen dabei in sozialen Kommunikations- und Austauschprozessen im Netz verhandelt. Ästhetische Prozesse haben dabei den Vorteil, dass sie auch affektive, emotionale Weltzugänge eröffnen (vgl. Dewey 2021, S. 54) und damit auch *Interesse* und ein entsprechendes Engagement für die Auseinandersetzung mit digitaler Technik wecken können, das wiederum zur Entwicklung eines technikspezifischen Urteilsvermögens bzw. ‚Gespürs‘ für die „verborgenen Machteffekte, Strukturen und Möglichkeiten des Medialen“ (Jörissen/Unterberg 2017/2019, o. S.) beitragen kann.

Gerade digitaltechnisch erzeugte mediale Artikulationsformen (vgl. Jörissen 2014, S. 504) können deshalb als Möglichkeit gelten, über die Oberflächenstrukturen der Technik (vgl. Abschnitt 3.4) auch einen Zugang zu ihren nicht sichtbaren Strukturen zu erhalten. Dieter MERSCH zufolge kann die sich dem Menschen entziehende Medialität der Medien nur „indirekt“ durch die Betrachtung ihrer „Wirkungen“ und „Resultate“ erfahrbar werden (Mersch 2015, S. 16). Deutet man digitaltechnisch erzeugte mediale Produkte und

Ausdrucksformen, wie Bilder, Videos oder Audioerzeugnisse, als *Resultate* digitaltechnischer Prozesse, so wäre zu fragen, was aus diesen über die Prozesse ihrer Erzeugung erfahrbar wird. Welche Spuren hinterlassen sie in den medialen Erzeugnissen und was sagen diese über die spezifische Medialität und „Prägekraft“ (Krämer 2008, S. 21) der verwendeten Technik aus? Inwiefern können ästhetische Gestaltungsprozesse bzw. die Herstellung digitaltechnisch generierter Medienproduktionen als Verknüpfung aus Handlungen und ihren Folgen so „in der Erkenntnis miteinander in Verbindung gebracht werden“ (Dewey 2021, S. 57), dass dabei auch Rückschlüsse auf die technischen Prozesse möglich werden, aus denen sie entstanden sind?

Einige mögliche Antworten werden in den nachfolgenden Ausführungen beispielhaft in den Blick genommen. Insbesondere im Kontext der sogenannten *Remixkultur* (vgl. Navas/Gallagher/Burrough 2015; Stalder 2009) können ästhetische Prozesse durch Aneignung, Reinszenierung und Resignifikation technisch erzeugter Medienprodukte auch eigene Positionierungen *zu* diesen technischen Erzeugnissen sowie eine kritische Auseinandersetzung mit der unterliegenden Technik ermöglichen. Hans-Christoph KOLLER (2018, S. 130–134) beschreibt den Transformationsprozess der Entstehung neuer Weltbezüge in Rekurs auf Judith BUTLER (2022) als iterativen Prozess, in dem bereits Bekanntes in neuen Kontexten wiederaufgeführt wird und damit Bedeutungsverschiebungen, die BUTLER als Resignifikation bezeichnet hat, erzeugt werden können (vgl. Abschnitt 2.4). Im Zusammenhang einer Remixkultur entstehen solche bedeutungsverschiebenden Wiederaufführungen im Rahmen zahlreicher ästhetischer Praktiken im Netz. Aufgrund der mit digitaltechnischen Strukturen einhergehenden generativen Informationsstruktur und der Performativität digitaler Softwaretechnik lassen sich ästhetische Artefakte, wie Bilder, Videos und Tonproduktionen, nicht nur produzieren, sondern auch einfach rekontextualisieren bzw. als „[ä]sthetische Umdeutungen“ (Jörissen/Unterberg 2017/2019, o. S.) neu in Szene setzen. Mithilfe von Remixes, Remakes, Samplings, Memes, Reels oder Mashups können die in den medialen Produktionen enthaltenen kulturellen Codes expliziert, zugleich aber auch umgedeutet werden (vgl. auch Stalder 2017, S. 97).

Zu solchen Reinszenierungspraktiken gehört auch die Idee des *Cultural Hacking*. In der medienpädagogischen Forschung und Kulturellen Bildung wird Cultural Hacking auch als Form der *Medienkritik* verstanden: Dabei werden Medienprodukte nicht als zu kritisierte „Texte“ wahrgenommen, über die man in sprachlicher Form Kritik äußert, sondern vielmehr „als Rohmaterial“, das umdefiniert wird, um damit „Gegenentwürfe“ (Missomelius 2018, S. 169 f.) zu gestalten. Entgegen populärer Vorstellungen, in denen Hacking lediglich als das unerlaubte und destruktive Eindringen in Computersysteme missverstanden wird, handelt es sich beim Hacking um einen spielerischen Zugang zu „kulturellen Codes und gesellschaftlichen Selbstverständlichkeiten“, bei dem versucht wird, über das „kreative Tüfteln, das Ausloten von Möglichkeiten“ Grenzen tradierteter Nutzungs- oder Interpretationsformen jener kulturellen Codes zu überschreiten und Alternativen aufzuzeigen (vgl. Missomelius 2018, S. 171 f.). Als Beispiel im Kontext digitaler Datenverarbeitung nennt Petra MISSOMELIUS die spielerische Auseinandersetzung mit Datenvisualisierungen, die allzu häufig als Abbildungen wahrgenommen werden,

während die kritische Auseinandersetzung mit den digitaltechnikbasierten *Geneseprozessen* jener Visualisierungen gerade in institutionellen Bildungskontexten wie der Schule noch ein Desiderat darstellt (vgl. ebd., S. 174). Ein Beispiel zur kritischen Reinszenierung von Datenvisualisierungsmöglichkeiten wird im Folgenden aufgezeigt.

Ästhetische Reflexion als Technikreflexion mit systemeigenen Mitteln

In der Analyse digitaltechnikbasierter Erkenntnisarbeit erwies sich insbesondere die Datenvisualisierung als eine zentrale Erkenntnispraktik (vgl. Abschnitt 5.2.5), die zugleich deutlich macht, dass digitaltechnikbasierte Erkenntnisarbeit heute auch der *ästhetischen Reflexion* bedarf. Angesichts der Tatsache, dass in digitaltechnisch erzeugten Visualisierungen Bildeigenschaften stets als Effekte datenbasierter Manipulationen zu werten sind und nicht als „*a priori given*“ (Drucker 2020, S. 18), plädiert Johanna DRUCKER für eine Form der ästhetischen Reflexion, durch die Visualisierungen nicht als Repräsentationen, sondern in ihrem argumentativen, rhetorischen Charakter verstehbar werden (vgl. ebd., S. 67). Solche *nicht-repräsentationalen* Ansätze der Visualisierung schlägt DRUCKER als Reflexionsinstrumente vor, die es ermöglichen, die Konstruiertheit von Visualisierungen und der ihnen unterliegenden Vorannahmen mittels wiederum visueller und grafischer Mittel sichtbar zu machen. In dieser kritisch-reflexiven Form der Visualisierung kommt Visualisierungen eine neue Funktion zu: Sie dienen hier nicht der *Wissensrepräsentation*, sondern als Reflexionsmittel, das vielmehr die Kontextabhängigkeit und Interpretationsabhängigkeit von Visualisierungen als Wissensrepräsentationen *sichtbar* macht, damit aber auch die Bedingungen der ihnen unterliegenden technischen Prozesse. Dies ist auch deshalb notwendig, da Analysen umfangreicher Daten wie im Kontext von Big-Data-Analysen oft überhaupt nur über Visualisierungen zugänglich werden. Was lässt sich aus Visualisierungen über die Art der verarbeiteten Daten auslesen sowie über Vorannahmen, denen die technische Prozessierung der Daten unterlag?

Aufgrund der ihnen unterliegenden Strukturen prägen Visualisierungstools zwar das durch sie generierte Wissen auf eine bestimmte Art und Weise, die reflexiv eingeholt werden muss. Zugleich können sie aber auch selbst zu Tools entwickelt werden, die Reflexion mit „*systemeigenen Mitteln*“ ermöglicht, durch die also genau jene epistemisch konstitutiven Elemente sowie die Interpretationsabhängigkeit von Bildern und Visualisierungen *sichtbar* gemacht werden können: „Can We Make Arguments Visually?“ (Drucker 2020, S. 111) ist dabei die Frage, der DRUCKER hier nachgeht. In ihrem hermeneutischen und geisteswissenschaftlich orientierten Ansatz zur *Visualisierung von Interpretation* ist es DRUCKER dabei ein Anliegen, Reflexionswerkzeuge zu entwickeln, die sich gerade auch der digitaltechnikbasierten Möglichkeiten der visuellen Darstellung bedienen, um Visualisierungen und andere Wissensrepräsentationen mit visuellen Mitteln als *Capta* auszuweisen, und damit nicht als schlicht ‚Gegebenes‘, das lediglich repräsentiert wird (*Data*). Sichtbar gemacht werden soll stattdessen die Ambiguität jeglicher Wissensrepräsentationen (vgl. Drucker 2020, S. 57) sowie deren unterliegende Modelle und Vorannahmen (vgl. ebd., S. 69). Zur Verdeutlichung skizziert DRUCKER sechs Projekte im Kontext der Digital Humanities, in denen Versuche unternommen wurden, solche visu-

ellen Reflexionsinstrumente zu prototypisieren (vgl. Drucker 2020, S. 112). Gemeinsam ist diesen Projekten u. a. die Nutzung nicht-standardisierter Metriken sowie grafischer Mittel zur Strukturierung von Argumenten und Blickwinkeln, die die Interpretationsabhängigkeit und Konstruiertheit des dadurch produzierten Wissens verdeutlichen. Erreicht wird das im Wesentlichen aber auch durch die Verwendung *interaktiver* visueller Tools, durch die eine *direkte grafische Manipulation* möglich wird (vgl. Drucker 2020, S. 112).¹³¹

Eines der von DRUCKER vorgestellten Beispielprojekte zielt dabei auf ein Sichtbar machen interpretativer Formen von *Temporalität*: Standardisierte Formen der (visuellen) Darstellung zeitlicher Prozesse, so beispielsweise in Form von Zeitstrahlen bzw. Timelines, basieren DRUCKER zufolge häufig auf apriorischen Zeitkonzeptionen, in denen Zeit unidirektional in eine Richtung abläuft und mittels homogener Metriken gemessen und visualisiert werden kann (vgl. Drucker 2020, S. 114). Aus der Perspektive narrativer Ansätze oder gar der Relativitätstheorie ist Zeit allerdings nicht ‚gegeben‘, also kein sich unter stets gleichen Bedingungen konstituierbares ‚Datum‘. Gerade geisteswissenschaftlich Forschenden geht es darüber hinaus häufig auch um *subjektive Zeiterfahrungen*, so beispielsweise in der Analyse der Zeitstrukturen von Romanen, in denen Zeitskalen gemäß dem Erzählverlauf beständig komprimiert oder gedehnt werden. Ziel des von DRUCKER vorgestellten Projekts war es, solche Formen einer „erfahrenen Zeitlichkeit“ („experiential temporality“) zu visualisieren (ebd., S. 115) und damit zu zeigen, dass Visualisierungen von Zeitlichkeit auch so dargestellt werden können, dass darin zum Ausdruck kommt, dass Zeiterfahrungen aus Zeit *und* weiteren Faktoren, wie Emotion, subjektivem Erleben und einer unterliegenden Argumentationsabsicht, entstehen. Im von DRUCKER beschriebenen Projekt wurde also vor allem auf Möglichkeiten der Visualisierung eines relationalen, nicht-standardisierten Zeitverständnisses abgezielt, bei dem Zeit sich nicht einfach durch einen einfachen Zeitstempel, Timelines oder Skalen darstellen lässt (vgl. Drucker 2020, S. 116). Die im Projekt entwickelten *interpretativen Zeitleisten* als Visualisierungsform sollten dementsprechend ermöglichen, die wechselseitige Abhängigkeit von Ereignissen, Punkten oder Zeiträumen grafisch und ästhetisch erfahrbar zu machen. Interpretative, kontextbezogene Visualisierung wird dabei vor allem durch die gerade mit digitaltechnischen Mitteln einfache Manipulierbarkeit grafischer Elemente erreicht, so beispielsweise durch das Hinzufügen von Farbnuancen, Glanzeffekten und Textur, um Elemente mit zusätzlichen Informationen anzureichern (vgl. Drucker 2020, S. 115). Über grafische Manipulationen ließ sich damit u. a. visualisieren, ob ein Ereignis an Bedeutung verliert oder ein Intervall sich ‚gefühlt‘ ausdehnt (ebd., S. 116).

Deutlich wird in den von DRUCKER vorgestellten Projekten, dass die einfache softwaretechnisch ermöglichte Manipulierbarkeit grafischer Elemente ein ‚Spielen‘ mit Visu-

¹³¹ Der interpretative Ansatz legt im Hinblick auf die Visualisierung auch eine Umkehrung nahe: Während u. a. wissenschaftliche Visualisierungen, wie in Abschnitt 5.2.5 bereits aufgezeigt, traditionell an Daten ansetzen und aus diesen unter Rückgriff auf darstellerische Konventionen Grafiken wie Zeitleisten, Balkendiagramme oder Tabellen als *Output* generieren, ermöglichen die von DRUCKER vorgestellten nicht-repräsentationalen, interpretativen Visualisierungsansätze umgekehrt, dass Daten *mittels* grafischer Eingaben und Manipulationen erst produziert werden (vgl. Drucker 2020, S. 135).

alisierungen ermöglichte, was wiederum auf die Interpretationsabhängigkeit und Konstruiertheit von Datenvisualisierungen überhaupt verweist. Ich interpretiere dies so, dass die Offenheit und interpretative Flexibilität digitaltechnisch erzeugter Erkenntnisräume auch technikimmanente Reflexionsmöglichkeiten zur Verfügung stellt – hier: ein Reflektieren *über* die Interpretationsabhängigkeit von Wissensrepräsentationen *mit* digitaltechnikbasierten visuellen Mitteln. Diese grafische bzw. visuelle „Art experimentellen Spielens mit Dingen“ (Dewey 1998, S. 90) wird dabei, so meine Interpretation, auch zum (visuellen) Reflexionsmittel, mit dem Wissenschaffende und Lernenden ein Gespür u. a. auch für die technische Bedingtheit von visueller Wissensrepräsentationen und der Wissensproduktion im Allgemeinen erlangen können. Wenn beispielsweise klar wird, wie einfach neue Sichtweisen, zeitliche Bezugspunkte und Erfahrungen mit den softwaretechnisch ermöglichten (grafischen) Manipulationen erzeugt werden können, weist dies auch auf die Reichweite der allgemeinen digitaltechnisch ermöglichten Manipulierbarkeit von Datenrepräsentationen. Für das Erkenntnisinteresse der vorliegenden Studie zeigt der Ansatz also Hinweise für eine *immanente* Technikreflexion auf, wie also digitale Technik ‚mit eigenen Mitteln‘ reflektierbar wird. Das gelingt, wenn digitaltechnische Mittel dafür genutzt werden, deren eigene Konstruiertheit und Interpretationsabhängigkeit in den Reflexionshorizont von Wissenschaffenden oder Lernenden zu bringen und damit die Technik selbst zum Erkenntnisobjekt werden zu lassen.

In jüngster Zeit wird der Diskurs um technikvermittelte ästhetische Prozesse durch die Entwicklung und allgemeine Zugänglichkeit von Techniken des maschinellen Lernens, die unter dem Begriff der Künstliche-Intelligenz-Techniken diskutiert werden, neu perspektiviert. Insbesondere die Möglichkeit der algorithmischen Erzeugung von Bildern und Texten, die schon seit längerer Zeit die Diskussion um KI-Kunst bzw. generativer Kunst anspornt (vgl. u. a. Ahlborn 2023; Manovich 2023; Mazzone/Elgammal 2019; Verständig 2020a), sieht sich heute durch die Zugänglichkeit leistungsstarker Sprachgeneratoren wie *ChatGPT*, Bildgeneratoren wie *Midjourney* oder Text-to-Video-Generatoren wie *Sora*, neuen Fragen ausgesetzt, darunter u. a. nach der Kreativität solcher maschinel-ler Verarbeitungsprozesse (vgl. Miller 2020). Die Frage, inwiefern algorithmische Prozesse als ‚kreativ‘ gelten können, kann an dieser Stelle nicht weiterverfolgt werden (vgl. auch Knaus/Merz/Junge 2024). Sicher ist aber, dass sie Überraschendes hervorzubringen vermögen, das menschliches Denken wiederum ‚kreativ‘ werden lassen kann. Im Hinblick auf eine Remixkultur ist zu verzeichnen, dass die Techniken des maschinellen Lernens gerade den ‚Remix‘ – von Stilen, Genres, Ausdrucksformen – bestens beherrschen. Grundlage algorithmischer Neuinszenierungsfähigkeiten bilden dabei große Datensetzen, die menschliches Wissen, Erfahrung, visuelle, textbasierte oder auditive Artikulationsformen repräsentieren, mit denen die Systeme ‚trainiert‘ wurden (vgl. Manovich 2023, S. 4). In den auf transformerbasierten Architekturen gründenden Sprach- und Bildgeneratoren werden diese nun auf menschliche ‚Anfrage‘ über Prompts von den technischen Systemen neu ‚in Szene‘ gesetzt. Im Kontext der in dieser Studie im Fokus stehenden Frage nach Orientierungsmöglichkeiten *innerhalb* digitaltechnischer Strukturen stellt

sich nun die Frage, inwiefern solche algorithmischen Remixes und Reinszenierungen sowie ‚Halluzinationen‘ (vgl. Abschnitt 5.2.4) der technischen Systeme auch für die Reflexion just der diesen Techniken unterliegenden Strukturen, Muster und Konzepte nutzbar gemacht werden können. Was sagen die daraus entstehenden algorithmisch induzierten medialen Produktionen darüber, wie das technische System menschliche ‚Anfragen‘ oder das für sie als Trainingsbasis verwendete menschliche Wissen ‚versteht‘? Was verraten die algorithmischen Neuinszenierungen menschlichen Wissens über die den technischen Verarbeitungsprozessen unterliegenden Vorannahmen und *biases*? Welche überraschenden Perspektiven werden dabei zum Vorschein gebracht und wie lassen sich diese als Abduktionsanlässe für ein Nachdenken über digitale Technik nutzen? Inwiefern kann ein ‚Spielen‘ mit den algorithmischen Antworten und Produktionen – in etwa durch ein Anklicken der Funktion ‚regenerate response‘ in ChatGPT oder durch mehrmaliges Wiederholen einer Bildgenese über den Bildgenerator – auch ein Wissen über die unterliegenden technischen Prozesse befördern? Deutlich wird, dass insbesondere die schnell und mit quasi-menschlichem Sprach- und Darstellungsvermögen generierten, leistungsstarken ‚Antworten‘ dieser Systeme die von DEWEY geforderte reflexive Verknüpfung der aus dem (technischen) Tun entstehenden Konsequenzen (Texte, Bilder usw.) aufgrund der bislang unerreichten *Responsivität* heutiger Bild- und Sprachgeneratoren auf eine neue Stufe zu heben vermag. Diese Möglichkeit eines nach DEWEY erfahrungsbasierten Zugangs auch zu den sogenannten KI-Techniken gilt es für Bildungsprozesse nutzbar zu machen. Im Kontext dieser Studie kann weiteren Bildungsperspektiven dieser jüngeren technischen Entwicklungen nicht weiter nachgegangen werden. In der derzeit stattfindenden akademischen Reflexion werden diese aber bereits eingehend auch von pädagogischer, medienpädagogischer und bildungstheoretischer Seite verhandelt (vgl. u. a. Knaus 2023; de Witt/Gloerfeld/Wrede 2023; Knaus 2024a; Knaus 2024b; Knaus/Merz/Junge 2024).

Spiel als Reflexionsstrategie

In der Analyse digitaltechnikbasierter Erkenntnispraktiken habe ich insbesondere das *Spiel* als zentrale epistemische Praktik betont (vgl. Abschnitt 5.2.1) und will an dieser Stelle auf dessen Bedeutung im Kontext von Orientierungsprozessen innerhalb digital-technischer Strukturen verweisen. In seinem Beitrag zur *Phantasie des Neuen* schreibt Uwe WIRTH: „Offensichtlich ist die Annahme, daß (sic!) es eine den Wissenschaften und Künsten gemeinsame Phantasie des Neuen gibt, nicht nur für die Romantiker ‚um 1800‘, sondern auch für die Wissenschaftstheoretiker ‚um 1900‘ eine Selbstverständlichkeit“ (Wirth 2003, S. 614).¹³² Bei PEIRCE ist das Gedankenspiel, das er als ‚wild play of the imagination‘ bezeichnet, ‚an inevitable and probably even a useful prelude to science proper‘ (Peirce 1965, 1.235, S. 106) und dabei zentrale Triebfeder sowohl eines wissenschaftlichen als auch ästhetischen Erkenntnisprozesses (vgl. Peirce 1960b, 6.458–6.459, S. 313–314) sowie ‚Grundlage einer außerhalb und innerhalb der Wissenschaften wirk-

¹³² Zum Spiel als Selbstbeschreibung moderner Gesellschaften vgl. auch NEUENFELD (2005).

samen Phantasie des Neuen“ (Wirth 2003, S. 613 f.). Was dabei für PEIRCE das wilde Gedankenspiel war, war u. a. für Friedrich SCHILLER der „Spieltrieb“, der zwischen „Form und Stofftrieb“ vermittelt (Schiller 2016, S. 45).¹³³ In KANTS *Kritik der Urteilskraft* schließlich steht das Spiel in Verbindung mit dem freien Spiel der Erkenntnisvermögen, der Einbildungskraft und des Verstandes: „Die Erkenntniskräfte, die durch diese Vorstellung ins Spiel gesetzt werden, sind hiebei in einem freien Spiele, weil kein bestimmter Begriff sie auf eine besondere Erkenntnisregel einschränkt“ (Kant 2015, AA 218, S. 75). Freies Spiel ist dabei Leistung auch der Einbildungskraft, durch die wiederum „ungeordnete sinnliche Anschauung“ synthetisiert werden kann, was auch als eine menschliche Form der ‚Mustererkennung‘ gedeutet werden kann. Freies Spiel ist dabei Leistung der Einbildungskraft und des Verstandes, dessen „Ergebnisse in Urteilen erfasst werden können“, die sowohl für ästhetische Urteile als auch Erkenntnisurteile gültig sind (Vossenkühl 2006, S. 448).¹³⁴ Für die in diesem Abschnitt entfalteten Überlegungen ist vor allem die Verbindung von Urteilskraft und Spiel hervorzuheben. Inwiefern kann eine technikbezogene Urteilskraft ihren Ausgangspunkt im Spiel finden? Welche Bildungspotentiale liegen im spielerischen Zugang zur Technik? U. a. der Pädagoge Friedrich FRÖBEL zeigte, dass Heranwachsende sich die Welt durch Spiel aneignen und differenziert dabei nicht zwischen Spielen und Lernen (vgl. auch Röll 2022, S. 2). Das von FRÖBEL oder Maria MONTESSORI entwickelte Lernspielzeug erfährt heute vor dem Hintergrund des digitalen Wandels jedoch eine erhebliche Flexibilisierung (vgl. Schelhowe 2012, S. 256 f.). So ermöglicht beispielsweise die Programmierbarkeit von Alltagsgegenständen und Spielzeugen, die mit Mikrocontrollern versehen werden, handlungsorientierte Zugänge, die auch zur Entwicklung eines intuitiven Verständnisses für digitaltechnische Konzepte förderlich sein können (s. u.).

Im Hinblick auf die Frage nach dem Bildungspotential des Spiels sollen im Folgenden beispielhaft vor allem Coding- bzw. Programmierprojekte als spielerische und zugleich kreative Ausdrucksform in den Blick genommen werden. Argumentiert wird, dass das kreative, interessengeleitete und zugleich gemeinschaftliche Umgehen mit *Code* zur Entwicklung eines reflexiven Verhältnisses zur Technik beitragen kann. In diesem Zusammenhang diskutiert Dan VERSTÄNDIG Reflexionspotentiale spielerischer, emanzipativer und ästhetischer Handlungen im Kontext von *Creative Coding* (2020a). Auch *Code* entstehe nicht „im sozialen Vakuum“, sondern im Kontext sozialer Aushandlungsprozesse, in denen auch Weltbilder, Normen und Werte mit verhandelt werden, zugleich aber auch ästhetische und künstlerische Praktiken Raum finden können: „Das Programmieren ist

¹³³ SCHILLER erklärte außerdem, dass der Mensch „nur da ganz Mensch [sei], wo er spielt“ (Schiller 2016, S. 48; H. i. O.).

¹³⁴ Produktive Einbildungskraft nennt KANT bereits in der *Kritik der reinen Vernunft* im Zusammenhang mit „Spontaneität“, doch erst in der *Kritik der Urteilskraft* kennzeichnet er Einbildungskraft als „freies Spiel“, das „quasi auf Augenhöhe mit dem Verstand“ steht, hier erst wird das freie Spiel der Einbildungskraft „kreativ“ und liegt damit sowohl „ästhetischen Urteilen“ wie auch „genialen Leistungen in den Künsten“ zugrunde (Vossenkühl 2006, S. 447).

dabei mehr als nur ein einsamer Handlungsvollzug und Prozess individueller geistiger Anstrengung, sondern eingebettet in kommunikative Praktiken des Austauschs über Programmierstile, Problemstellungen, Lösungsstrategien und deren Effizienz sowie Ästhetik“ (Verständig 2020a, S. 89). Beim Creative Coding gehe es also weniger darum, wie in der klassischen Programmierung Lösungen für definierte Probleme zu finden und dafür technische Funktionsabläufe zu entwickeln, sondern vielmehr um eine Form des kreativen Ausdrucks (vgl. ebd., S. 90).

Das von VERSTÄNDIG untersuchte „kreative Spiel mit Code“ (Verständig 2020a, S. 103) zeichnet sich u. a. durch ein „Spiel mit dem Publikum“ aus (ebd., S. 103). U. a. anhand Daniel SHIFFMANS Youtube-Channel *The Coding Train* verdeutlicht VERSTÄNDIG Coding als kreative und ästhetische Praktik, die beispielsweise in Coding Challenges und Live-Coding-Inszenierungen nicht nur Publikum involviert, sondern über künstlerisch-ästhetische Ausdrucksformen auch eine besondere Artikulationsform erhält, die an *Performance*-Kunst erinnert. Die dabei entstehenden ästhetischen Produktionen, so beispielsweise Videos, sind auch deswegen von Interesse für Bildungsprozesse, da sie nicht lediglich „Produktionsprozesse“ darstellen, sondern weil im Kontext dieser Produktionen offene und vernetzte Plattformen entstehen, auf denen Menschen sich mithilfe ästhetisch ansprechender und kreativer Präsentationsformen sowie im Rahmen sozialer Aushandlungsprozesse mit „niederschwelligem Programmieren“ (Verständig 2020, S. 108) auseinandersetzen können. Gerade die ästhetischen und zugleich in sozialen Aushandlungsprozessen eingebetteten Artikulationsformen, die sich auch die vernetzenden Eigenschaften der generischen Strukturen digitaler Technik zunutze machen (vgl. Abschnitt 5.1.4), eröffnen erfahrungsbasierte Wege, die „impliziten Strukturen des Digitalen sichtbar zu machen“ (ebd., S. 108). Sie machen sich der jeglichen ästhetischen Erfahrung unterliegenden Interaktionsprozesse zwischen Produzierendem, Werk und Rezipierenden (vgl. Dewey 2021) zunutze und vermögen es so, auch andere Zugänge zur Technik zu eröffnen, als es über die Vermittlung rein deklarativen Wissens *über* Technik möglich wäre.

Ein weiteres Beispiel für einen spielerischen, kreativen Zugang zu *Coding* findet sich in einer Forschungs- und Bildungsinitiative des Massachusetts Institute of Technology (MIT). Die *Lifelong Kindergarten-Group* ist ein Forschendenteam am MIT Media Lab (media.mit.edu/groups/lifelong-kindergarten), das sich zum Ziel gesetzt hat, Techniken und Anwendungen für kreative und gemeinschaftliche Lernerfahrungen zu entwickeln (vgl. MIT o. J., o. S.). Die Forschungs- und Bildungsinitiative, der Mitchel RESNICK als Direktor vorsteht, wurde aus der Idee heraus geboren, dass das freie Spiel, wie es Kindern in Kindergärten in der Regel noch möglich sein sollte, bildungsförderlich ist – und das nicht nur für Kinder im Kindergartenalter, sondern in allen Altersstufen (daher: „Lifelong“).

Teil der Initiative war auch die Entwicklung der Programmiersprache und Online-Plattform *Scratch*.¹³⁵

Codingprojekte mithilfe von Scratch zielen für RESNICK jedoch nicht nur auf die Befähigung von Heranwachsenden zum funktionalen Programmierenkönnen, sondern stellen für ihn und die Initiative der Lifelong-Kindergarten-Group eine Möglichkeit des kreativen Ausdrucks dar, über den interaktive Geschichten, Spiele, Animationen und Simulationen, Musik und Kunstprojekte entstehen können (vgl. Resnick 2020, S. 71). Coding mit Scratch als eine digitaltechnisch ermöglichte Form des kreativen Ausdrucks ist dabei deshalb möglich, da die Programmiersprache so *flexibel* konzipiert wurde, dass sie das Umsetzen einer Vielfalt unterschiedlicher und an den Interessen der Nutzenden orientierter Programmierprojekte erlaubt (vgl. ebd., S. 90). Über diese können Nutzende *konzeptionelle* Hintergründe digitaltechnischer Strukturen spielerisch und handlungsorientiert erfahren und dabei Fähigkeiten im sogenannten *Computational Thinking* entwickeln (s. u.). Dieser Ansatz erinnert auch an handlungsorientierte Ansätze der Medienpädagogik wie die *Aktive Medienarbeit*, in der „aus dem Modus der Produktion heraus Kritik- und Distanzierungsfähigkeiten“ (Niesyto 2017, S. 271; vgl. auch Schell 2003) möglich werden. Eine Erweiterung hat dieser Ansatz in jüngerer Zeit u. a. durch das Konzept des Medienpädagogische Makings (vgl. Knaus/Schmidt 2020) erfahren, das den in der Aktiven Medienarbeit geförderten reflexiven Produktionsprozess durch eine kreative Annäherung an die digitale Technik erweitert (vgl. auch Knaus 2022).

Im Kontext von Programmiertätigkeiten von Heranwachsenden auf der Scratch-Plattform lassen sich dabei auch Elemente jener erkenntnisweiternden Formen der *kreativen Umdeutung* ausmachen, die einer Remixkultur bzw. der Idee des (Cultural) Hackings zu grunde liegen (s. o.). Aufgrund der generativen Tiefenstruktur digitaler Technik lassen sich MANOVICH zufolge nicht nur Repräsentationsformen ‚remixen‘ (vgl. Abschnitt 3.2), sondern auch *Techniken*, *Arbeitsmethoden* und *Ausdrucksweisen* (vgl. Manovich 2013, S. 268). Ein solches ‚Remixen‘ von Coding-Techniken, -Wissen sowie Code-Elementen haben die Forschenden der Lifelong Kindergarten-Group auch in der Scratch-Online-Community identifizieren können, wie im nächsten Beispiel der hier vorgestellten ästhetischen, kreativen und spielerischen Orientierungsstrategien innerhalb digitaltechnischer Strukturen vorgestellt wird.

Remix als soziales Lernen

RESNICK weist insbesondere auf den sozialen Charakter des Scratch-Projekts. Häufig werde Scratch als bloße Programmiersprache missverstanden. In Verbindung mit der an das Projekt angegliederten Online-Community stellt Scratch aber eher eine integrative Lernumgebung dar, auf der Heranwachsende ihre Programmierprojekte teilen, Feedback

¹³⁵ Scratch ist eine visuelle Programmiersprache, mit der sich mittels vorprogrammierter Bausteine Videos, Animationen, Spiele, interaktive Geschichten und andere Produktionen gestalten lassen. Sie eignet sich aufgrund ihres visuellen Charakters und der vorprogrammierten Programmierblöcke besonders für Heranwachsende (vgl. u. a. Scratch-Wiki o. J.b.).

einholen und neue Programmiertechniken erlernen können (vgl. Resnick 2020, S. 126). Dabei wurde die Scratch-Webseite so konzipiert, dass sie für Kinder einfache Möglichkeiten bietet, „die Projekte anderer zu remixen“ und zur Grundlage für eigene Programmierprojekte zu machen. Die auf der Webseite veröffentlichten Projekte werden zudem mit einem „*See Inside*-Button“ versehen, über den Nutzende Zugriff auf die den Projekten zugrundeliegenden Skripte und Materialien erhalten. Diese können jeweils in eigene Projekte („den eigenen Rucksack“) übernommen werden. Oder aber es ist möglich, auf einen „Remix-Button“ zu klicken, um eine Projektkopie zu erhalten, die beliebig verändert werden kann (Resnick 2020, S. 133; H. i. O.).

Das Projektteam hatte beschlossen, alle Projekte in der Scratch-Community unter einer Creative-Commons-Attribution-Lizenz zu veröffentlichen, auf deren Grundlage die Projekte jederzeit weiterverwendet und geändert werden können. Die Plattform, so meldet es ein Vater, dessen Söhne Teil der Community sind, sei vergleichbar mit einer „Forschergemeinschaft“, in der die Kinder beständig Ideen austauschen und auf den Arbeiten anderer aufbauen (Resnick 2020, S. 136). Remixing stärkt *epistemische Gemeinschaften* als *Communities of Practice* (vgl. Abschnitt 5.1.4) – insoweit Offenheit und Transparenz auch eine grundsätzliche Haltung dieser Gemeinschaft markiert. So heißt es im Wiki der Scratch-Webseite: „Das Herunterladen fremder Projekte, anschließendes Ändern und Erweitern und Hochladen als eigenes Projekt wird in Scratch als ‚Remixing‘ bezeichnet und ist eine beliebte und positiv bewertete Vorgehensweise“. Das Remixen auf Scratch werde daher auch nicht als „Ideeendiebstahl“ gewertet, sondern als „Gemeinschaftserfahrung“ (Scratch-Wiki o. J.a, o. S.).¹³⁶

„Remixing ist der kulturelle Ausdruck und Teil der aktuellen gesamtgesellschaftlichen Verfasstheit und dürfte damit noch für lange Zeit ein zentraler Begriff der Kultur- und Gesellschaftstheorie bleiben“ (Stalder 2009, S. 2), schreibt Felix STALDER in seiner Auseinandersetzung mit der zeigenösischen Remixkultur. Remixability ist dabei nicht nur eine bedeutende erkenntnisprägende Eigenschaft digitatechnischer Strukturen, die ein Re-Arrangieren und Neuperspektivieren des bereits Vorhandenen und Gewussten erlaubt, sondern bildet in Rekurs auf STALDER (2017) auch eine zentrale epistemische Praktik in einer *Kultur der Digitalität*. Für die jungen Nutzerinnen und Nutzer der Scratch Online-Community tragen die Aneignung des in den Coding-Projekten ihrer ‚Peers‘ eingeflossenen programmiertechnischen Wissens dazu bei, ihr eigenes Wissen und ihre eigenen Erfahrungen mit der Technik interessenbasiert und im Kontext der Gestaltung eigener Projekte zu erweitern. RESNICK schreibt: „Die Online-Community von Scratch dient als Inspirationsquelle und Feedbackgeber. Durch das Ausprobieren fremder Projekte erlernen Scratcher neue Coding-Techniken und entwickeln Ideen für eigene Projekte“ (Resnick 2020, S. 126).

¹³⁶ Den Entwicklerinnen und Entwicklern der Plattform kommt es allerdings darauf an, dass die Urspungsautorinnen und -autoren der Programmierstücke jeweils rückverfolgbar sind, weshalb auf der Plattform bereits zahlreiche „Remixing-Ketten und -Bäume“ nachvollziehbar sind (Scratch-Wiki o. J.a, o. S.).

Dass Remixing überhaupt möglich ist, liegt, wie argumentiert, an der interpretativen Flexibilität und Generizität der digitalen Informationsstrukturen als übergreifender *lingua franca* (vgl. Abschnitte 5.1.1 und 5.1.4), aber auch an der Offenheit der Scratch-Community selbst, in der *remixability* zum Selbstverständnis der Community gehört. DASGUPTA ET AL., die sich in einer Studie zur Bedeutung von Remix zur Förderung von *Computational Thinking* mit der Online-Community von Scratch auseinander gesetzt haben, heben die Lernförderlichkeit von Remixprozessen hervor (vgl. Dasgupta et al. 2016, S. 1438 f.; vgl. auch Brennan/Resnick 2012). Daran anknüpfend stehen im folgenden Teilabschnitt beispielhaft *konstruktionistische* Strategien der Förderung von Computational Thinking im Fokus. Diese werden als Orientierungsstrategien skizziert, bei denen durch die Konstruktion und *Greifbarkeit* von mit Computertechnik versehenen (Alltags-)Objekten ein *konzeptionelles Verständnis* digitaler Technik befördert werden kann.

Konzepte „be-greifen“

Bildet der Computer den konzeptionellen Kern dessen, was als digitale Technik bezeichnet werden kann, so ließe sich argumentieren, dass das ‚Denkenkönnen wie ein Computer‘ auch zur Orientierung innerhalb digitaltechnischer Strukturen beiträgt. Die Relevanz, die dem sogenannten *Computational Thinking* für heutige Vorstellungen für eine „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK 2017) zugesprochen wird, ist daher nicht verwunderlich. So wird Computational Thinking im bildungspolitischen Diskurs mitunter als „Schlüsselkompetenz des 21. Jahrhunderts“ (Senkbeil et al. 2019, S. 98) gehandelt – erkennbar u. a. auch am Einbezug von Abfragen zur Testung entsprechender Fähigkeiten im PISA-Test 2021 (vgl. Schleicher/Partovi 2019).

Die Idee des Computational Thinking ist von der Vorstellung geprägt, dass alle Menschen von der Art und Weise, wie Computer Informationen verarbeiten,¹³⁷ in vielen Lebensbereichen profitieren können (vgl. Denning/Tedre 2019, S. 180 f.). In jüngerer Zeit wurde Computational Thinking von Jeanette WING (2006, 2008) in die Diskussion eingebbracht, zuvor aber bereits von Seymour PAPERT in seiner Schrift *Mindstorms* verwendet. Beide nehmen jedoch unterschiedliche Perspektiven auf Computational Thinking ein. Während WING allgemeine *Abstraktionsfähigkeiten* als Kern des Computational Thinking betont, weist PAPERT darauf hin, dass das Programmieren sowohl *konkrete* als auch *abstrakte* Denkfähigkeiten befördert und damit zwischen dem *konkret-praktischen Agieren* und der dafür nötigen *Abstraktionsfähigkeit* zu vermitteln vermag (vgl. Romero/Lepage/Lille 2017, S. 4). PAPERT geht in Rekurs auf die Überlegungen Jean PIAGETS davon aus, dass Computational Thinking genau jenen Übergang in der kognitiven Entwicklung von Heranwachsenden unterstützen kann, in dem diese von einem kindlichen kon-

¹³⁷ Alan PERLIS, ein amerikanischer Informatiker, der zur Etablierung des Fachs Informatik bzw. Computer Science an amerikanischen Hochschulen beigetragen hat, prägte die Vorstellung, dass Menschen erst dann behaupten können, etwas „gelernt“ zu haben, wenn sie in der Lage sind, es in eine computertaugliche Kodierung zu überführen: “Whereas we *think* we know something when we learn it, and are *convinced* we know it when we can teach it, the fact is that we don’t *really* know it until we can code it for an automatic computer” (Alan Perlis, zit. nach Denning/Tedre 2019, S. 180 f.).

kreten Denken zu einem ‚erwachsenen‘ abstrakten Denken übertreten (vgl. Papert 2020, S. 22). Den Vorteil des Computers sieht er dabei darin, dass Wissen, das zuvor nur durch formale Prozesse zugänglich war, durch diesen *konkret* werden kann. Das gilt auch für solche Altersgruppen, die formales Denken noch nicht vollständig ausgebildet haben, und kann sie befähigen, formales Denken weiterzuentwickeln. In diesem Kontext betont PAPERT die Bedeutung des Computers als übergeordnetes Werkzeug zur Konkretisierung des Abstrakten und damit als Medium für die *Explizierung* und *Objektivierung* des Denkens überhaupt. Für PAPERT ist ein Computer ein ‚object-to-think-with‘ (Papert 2020, S. 11), das es ermöglicht, auch etwas über das *eigene Denken* zu erfahren. Heranwachsende, die mit dem Computer ‚denken‘ bezeichnete PAPERT daher als *Epistemologen*: ‚And for me what is most important in this is that through these experiences these children would be serving their apprenticeships as epistemologists, that is to say learning to think articulately about thinking‘ (ebd., S. 29).¹³⁸

Auch in der Analyse digitaltechnikbasierter wissenschaftlicher Erkenntnisarbeit wurde deutlich, wie Wissenschaffende im Kontext ‚verteilter Erkenntnisarbeit‘ etwas über ihr eigenes methodisches Denken lernten. Aufgegriffen hatte ich in diesem Zusammenhang den Bericht von Burkhard SCHÄFFER, Denise KLINGE und Franz KRÄMER (2021). Sie berichteten von ihrer Erfahrung, Interpretationspraktiken im Kontext der Dokumentarischen Methode so zu explizieren, dass sie innerhalb einer Software durchführbar wurden (vgl. Abschnitt 5.1.5). Sie hatten versucht, habitualisierte und damit implizite Praktiken qualitativen Forschens so zu artikulieren, dass diese in computertaugliche und softwarelogische Formate überführt werden konnten. Dabei, so meine ich, vollzogen die Forschenden im Verbund mit den Softwareentwicklerinnen und -entwicklern Prozesse des Computational Thinking, indem sie das für sie vielleicht nicht abstrakte, aber dennoch teils nur schwer verbalisierbare methodische Wissen für die computerbasierte Verarbeitung explizierten und damit ‚computertauglich‘ machten. Die Herausforderung, ein Problem oder einen Problemlöseprozess in eine computerlösbar Aufgabe zu überführen, hält Wissenschaffende dazu an, auch das eigene Denken, epistemische Vorannahmen und vermeintlich Gewusstes kritisch zu reflektieren.

Aber inwiefern tangiert diese Evokation des eigenen Denkens und impliziten Wissens durch Computational Thinking die Frage nach Orientierungsmöglichkeiten *innerhalb*

¹³⁸ Diese weitreichende Auffassung vom Computational Thinking als eine in alle möglichen Lebensbereiche übertragbare Form des Denkens wurde auch immer wieder kritisiert. In diesem Zusammenhang kritisiert David BUCKINGHAM die häufig propagierte Transferierbarkeit des Computational Thinking in andere Wissenskontexte sowie PAPERTS Anspruch, Computational Thinking würde Heranwachsenden das *Denken selbst* lehren (vgl. Buckingham 2015, o. S.). U. a. Heinz MOSER (2021, S. 724 f.) hat diese Kritik aufgegriffen. Da es mir in meiner Argumentation darauf ankommt, beispielhaft Orientierungsstrategien für eine Orientierung *innerhalb* digitaltechnischer Strukturen sowie Möglichkeiten der Reflexion über digitale Technik zu konturieren, gehe ich auf diese Diskussion nicht weiter ein. Grundsätzlich teile ich jedoch PAPERTS Argumentation, dass uns der Versuch, eigene Denkprozesse für den Computer zu *explizieren* und zu formalisieren, auch etwas über unser eigenes Denken lehrt, wie ich im weiteren Verlauf dieses Abschnitts auch beispielhaft argumentiere.

digitaltechnischer Strukturen, also ein Nachdenken *über* die Technik selbst? „By deliberately learning to imitate mechanical thinking“, schreibt PAPERT, „the learner becomes able to articulate what mechanical thinking is and what it is not“ (Papert 2020, S. 29). Das bedeutet, dass Menschen mit dem Computer als Kontrastfolie nicht nur das eigene Denken stärker zu konturieren vermögen, sondern auch unterliegenden computertechnischen Verarbeitungsprozessen näher kommen, insofern beim Versuch, wie ein Computer zu ‚denken‘, Differenzerfahrungen zwischen dem eigenen und einem computertauglichen ‚Denken‘ gemacht werden können. PAPERT erläutert in *Mindstorms*, dass Wissen – er bezieht sich hier auf mathematisches Wissen –, das vormals nur durch formale Prozesse zu entwickeln war, mithilfe des Computers *konkret* entwickelt werden könne. Der wahre „Zauber“ läge dabei darin, dass in diesem Wissen bereits jene Elemente angelegt sind, die Menschen brauchen, um auch formale Denker zu werden (ebd., S. 22). Formales Denken ist aber auch die kulturhistorisch rekonstruierbare Möglichkeitsbedingung des Computers (vgl. Abschnitt 2.2.1) und damit Voraussetzung für eine Orientierung innerhalb digitaltechnischer Strukturen.

Diese Überlegungen wirken nun aber zirkulär, denn es erscheint logisch, dass es beim Computational Thinking darum geht, die formalen Strukturen eines Computers zu verstehen. Worauf es mir allerdings angkommt, ist das *Wie*, dass nämlich dem Denken PAPERTS zufolge der Computer formales Denken *konkret* werden lassen kann, konkret heißt aber meist auch *greifbar*. Im Vordergrund von PAPERTS Werk *Mindstorms* steht denn auch weniger das bloße Nachdenken, sondern das *Konstruieren* (vgl. Lodi/Martini 2021, S. 890). Im u. a. von PAPERT betonten *konstruktivistischen Lernverständnis* (vgl. Harel/Papert 1991) geht es darum, dass Wissenskonstruktion vor allem dann „gut gelingen kann, wenn die Lernenden selbst etwas herstellen, konstruieren“ (Schelhowe 2007b, S. 124). Für handlungsorientierte und konstruktionistische Ansätze des Lernens eignen sich digitale Medien Heidi SCHELHOWE zufolge besonders gut, insofern sie „als Werkzeuge des Herstellens physischer und virtueller Objekte genutzt werden“ können und „über die Interaktion konkretes, durch Handeln gestütztes Lernen erlauben“ (ebd., S. 124).

Heute kommt es den Lernenden zugute, dass sie mithilfe digitaltechnikbasierter Alltagsgegenstände „weit reichende sinnliche Erfahrungen“ mit der Technik machen können, so beispielsweise durch sogenannte „Tangibles“, anfassbare Objekte wie Kleidung oder Spielzeug, in denen Mikroprozessoren bzw. Mikrocontroller verbaut werden können, so dass diese Gegenstände *programmierbar* werden. Dabei kann vor allem das Programmieren, das auf Abstraktion und Modellbildung beruht, durch das Konstruieren von Robotern oder die Entwicklung „intelligenter Textilien“ „motorisch, haptisch, visuell, akustisch“ erfahrbar und zugleich „mit künstlerischem Ausdruck verbunden werden“ (Schelhowe 2012, S. 267). Solche programmierbaren Alltagsobjekte können zu *evokativen Objekten* werden (vgl. Turkle 2007), insofern sie zahlreiche Möglichkeiten anbieten, „an eigene Vorstellungen anzuknüpfen“ (Schelhowe 2007b, S. 124) und somit *interessenbasiert* zu lernen. Im Kontext von Gestaltungsprozessen mit computerisierten physischen Objekten relativiert sich auch die von GRAMELSBERGER für die Computersimulation diagnostizierte fehlende „materiale Widerständigkeit“ (Gramelsberger 2010, S. 272),

denn hier gibt stets das „Material selbst [...] Rückmeldung darüber, ob ein Konstruktions- und Programmierprozess gelungen ist oder nicht“ (Schelhowe 2007b, S. 124). Ermöglicht wird dabei eine durchaus physisch und haptisch konnotierte “reflective conversation with the situation” (Schön 1983, S. 76–104) bzw. „produktive Verwicklung“ (Allert/Asmussen 2017, S. 27 f.), die digitale Technik gerade für Heranwachsende greifbarer und somit *be-greifbarer* macht.

Damit digitale Medien und Technik in Form greifbarer Objekte aber zum *Bildungsgegenstand* werden können, ist es SCHELHOWE zufolge hilfreich, wenn computerisierte Alltagsgegenstände auf bestimmte Art und Weise konstruiert werden. Darin liegt der Grundgedanke des sogenannten *Instruktionsdesigns*, das reflexive Erfahrungen mit der Technik ermöglichen soll. Hier gelte es, so SCHELHOWE, die „*be-greifbare Qualität*“ der Objekte „so zu gestalten, dass über das Design sowohl Immersion als auch Reflexion unterstützt werden“, um so „die verborgenen Prozesse der Berechenbarkeit wieder ans Licht zu holen“ (Schelhowe 2012, S. 255). Ziel von Instruktionsdesign ist es also, „Aufmersamkeit für das Medium selbst zu fördern“ (ebd., S. 266). Objekte, die reflexive bzw. bildende Erfahrungen ermöglichen sollen, müssen demnach vor allem die Entwicklung *mentaler Modelle* unterstützen, wie es in etwa auch das von Friedrich FRÖBEL oder Maria MONTESSORI konzipierte nicht-digitale Lernspielzeug vermochte (vgl. ebd., S. 264). Dabei geht es aber bei den digitaltechnischen ‚Lernspielzeugen‘ nicht um reguläre sinnliche Erfahrung, sondern um „über Modelle und Algorithmen vermittelte sinnliche Erfahrung“, computervermittelte Erfahrungsmöglichkeiten sind immer „algorithmische Wirklichkeiten“ (ebd., S. 266), die mittels Instruktionsdesign sichtbar gemacht werden sollen.

Am MIT Media Lab, an dem auch Seymour PAPERT tätig war, existieren bis heute zahlreiche Projekte, die sich einer solchen „Gestaltung von Sichtbarkeit“ widmen (Schelhowe 2012, S. 266). RESNICK, der Schüler von PAPERT war, sowie weitere Autorinnen und Autoren präsentieren in einem bereits älteren Paper ihre Auseinandersetzung mit sogenannten „Digital Manipulatives“, die als ‚Denkspielzeuge‘ für Heranwachsende entwickelt worden waren (“New Toys to Think With”) und die von ihnen genutzt werden konnten, um *Konzepte* computerbasierter Strukturen zu erkunden. Manipulierbare Objekte, die einen Mikroprozessor enthalten, haben gegenüber nicht-digitalen Lernmaterialien u. a. auch den Vorteil, dass damit auch *dynamische Konzepte* wie *Feedback* und *Emergenz* zugänglich gemacht werden können, Konzepte die gerade für Heranwachsende nicht selten als zu komplex gelten, würde man sie in abstrakter Form thematisieren (Resnick et al. 1998, S. 281). Durch solche computerisierten, manipulierbaren Objekte werden beispielsweise komplexere Konzepte digitaler Technik, wie Rekursivität, Schleifen und daraus entstehende Emergenzen (vgl. Abschnitt 3.3), zumindest konzeptionell erfahrbar.

Das Projektteam hatte dafür vier traditionelle Kinderspielzeuge – Blöcke, Perlen, Bälle und Abzeichen – mit Mikroprozessoren versehen (vgl. Resnick et al. 1998, S. 282). Beispielhaft gehe ich auf die Ausführungen der Autoren zu den von ihnen entwickelten *programmierbaren Perlen* ein, die Heranwachsenden ermöglichen sollten, Formen algorithmischer Mustererkennung spielerisch ausprobieren zu können. Die programmierbaren

Perlen verfügten über eingebaute Mikroprozessoren und eine Leuchtdiode und konnten durch induktive Kopplung mit benachbarten Perlen ‚kommunizieren‘. Je nachdem, wie die Perlen aufgefädelt wurden, entstanden dabei unterschiedliche dynamische Lichtmuster. Dabei geben einige Perlen Licht an die nächste Perle weiter und andere reflektieren das Licht zurück bzw. ‚schlucken‘ es, die Weitergabe von Licht erfolgt auf Grundlage von Wahrscheinlichkeitsmodellen. Nach RESNICK ET AL. verkörpern die Perlen eindimensionale *Zelluläre Automaten*, bei denen Zellen ihren Zustand auf Basis der Zustände ihrer benachbarten Zellen ändern. Dabei werden vor allem Konzepte von Emergenz, aber auch probabilistische Konzepte erfahrbar, insgesamt könnte sich durch das ‚Spielen‘ mit den Perlen ein intuitives Gespür für probabilistische Verhaltensweisen entwickeln: ‚Most children (indeed, most people) have poor intuitions about such systems. Our hypothesis is that children who grow up playing with Programmable Beads will develop much richer intuitions about probabilistic behaviors‘ (Resnick et al. 1998, S. 284). Kinder, die in der Regel noch nicht in der Lage sind, komplexe mathematische Zusammenhänge zu durchschauen, können diese also über die greifbaren Oberflächen des computerisierten Spielzeugs konzeptionell *be-greifen* (vgl. Robben/Schelhowe 2012b), also ein Gespür – einen Kennerblick und technische Intuition – für mathematische und algorithmische Konzepte entwickeln. Die in den Gegenständen verbauten „mathematische[n] Medien“ (Gramelsberger 2012, S. 181) in Form von Mikroprozessoren ermöglichen dabei nicht nur die Programmierbarkeit der Objekte, sondern auch, dass diese so programmiert werden können, dass sie über die sichtbaren Benutzerschnittstellen wiederum Aufschluss auf unterliegende mathematische Prinzipien dieser Objekte „Fleisch gewordene[r] Mathematik“ (Zuse 2010, S. 100) geben können. Das Beispiel verdeutlicht, inwiefern zu *digitalen* Objekten transformierte Alltagsgegenstände durch ihre Greifbarkeit auch Zugänge zu digitaltechnischen und damit zusammenhängenden mathematischen Konzepten verschaffen können.

Insgesamt sind als Wegmarken für eine Orientierung in der digitalen Welt die Ermöglichung von Unbestimmtheit, Scheitern, Prozessen gestaltender Kreativität, des ‚Remixens‘ von Ideen, der soziale Austausch und das Lernen in der Peergroup, aber auch das Lernen an konkreten, das heißt greifbaren Objekten, von entscheidender Bedeutung. Solche Orientierungsstrategien sind auch deshalb notwendig, da den „meist impliziten Wirkweisen und strukturellen Einflüssen“ über eine „rein funktionalistische Perspektivsetzung und damit ein utilitaristisches Verständnis der Digitalisierung“ nicht länger beizukommen ist. Vielmehr ist hierfür eine, so Dan VERSTÄNDIG, „kreative – oder zumindest oftmals auch unkonventionelle – Auseinandersetzung mit Technologien“ erforderlich (Verständig 2022, S. 39). Diese ermöglichen Erfahrungsdimensionen mit der digitalen Technik auch auf anderen Ebenen als der rein analytischen oder aber über eine bloße ‚Vermittlung‘ digitaltechnikbezogenen Wissens.

Wie bereits argumentiert, zeichnet sich das wissenschaftliche Forschen innerhalb digitaltechnischer Strukturen über ein intensives produktives Verwobensein zwischen Mensch und Technik sowie Formen verteilter Handlungsträgerschaft aus (vgl. Rammert/

Schulz-Schaeffer 2002b), bei dem auch Nicht-Wissen (vgl. Friedrich et al. 2017) bzw. das Vertrauen auf das Wissen anderer zum konstitutionellen Bestandteil von Wissensbildungsprozessen gehört. Insgesamt gilt es dabei zwar, mit solchen „Grenzen der Nachvollziehbarkeit leben zu lernen“ (Gehring/Hubig/Kaminski 2017, S. 13). Zugleich stellt die digitale Technik über ihre inhärente Offenheit und interpretative Flexibilität sowie ihre zunehmende *Greifbarkeit* auch Mittel zur Verfügung, *Erfahrungen mit diesen Grenzen* der Nachvollziehbarkeit, und damit auch mit den analytisch unzugänglichen technischen Strukturen zu machen. Gerade für pädagogische Kontexte gilt es nun, diese so einzusetzen bzw. gemeinsam mit den Lernenden zu konstruieren, dass darüber auch implizite digitaltechnische Muster und Konzepte *erfahrbar* werden können. Zwar ist es häufig nicht möglich, digitaltechnische Strukturen als „Summe ihrer Einzelteile und Prozesse“ rekonstruierbar zu machen – in Prozessen „rekursiver Transformation“ (Hepp 2021, S. 32) haben sie sich bereits tiefgreifend in zahlreiche kulturelle und gesellschaftliche Vollzüge und Praktiken eingeschrieben (vgl. Abschnitt 3.3). Über einen konkreten, das heißt über analoge Repräsentationsformen vermittelten, Umgang mit digitalen Objekten sowie mithilfe der Gestaltung eigener Artefakte und Repräsentationsformen als reflektierbare „Resultate“ digitaltechnischer Vollzüge, ist es aber möglich, spielerisch, interessenbasiert und gestaltungsorientiert Einsicht in unterliegende *Konzepte* und Strukturen zu ermöglichen. Das Bildungspotential einer solchen tentativen Annäherung an die Technik liegt dann vielleicht nicht so sehr im explizierbaren, verbalisierbaren Wissen *über* die Technik, sondern in einem Gespür für ihre konzeptionelle Beschaffenheit. Eine solche erfahrungsbasierte und auf einer experimentellen, forschungsorientierten Grundhaltung basierende Form der Orientierung kann auch dann zur Entwicklung der hier postulierten *technischen Intuition* bzw. eines technischen ‚Kennerblicks‘ (vgl. Abschnitt 6.2.2) beitragen, wenn einzelne Teile der digitaltechnischen Zusammenhänge verborgen bleiben müssen.

Hier ergeben sich auch Anknüpfungspunkte für anschließende empirische Studien zu einem reflexiven Umgang von Heranwachsenden bzw. Lernenden mit digitaler Technik. Inwiefern kann eine solche Entwicklung technischer Intuition pädagogisch gefördert werden? Wie lässt sich auch in formalen Bildungskontexten eine integrative Perspektive der Medien- und Technikbildung fördern, in der sich ein interessengeleitetes Umgehen mit digitaler Technik und digitalen Medien als *Mittel* mit Bezügen auf Technik als Bildungsgegenstand verknüpfen lässt? Inwieweit lässt sich hier durch Prozesse von *inquiry*, und damit des experimentellen, forschenden Lernens (vgl. auch Kergel/Heidkamp 2016), auch ein reflexives Verhältnis zur Technik und ihren konzeptionellen Grundlagen herstellen? Inwieweit können auch kreative und ästhetische Zugänge ein solches befördern?

Deutlich wird aber, dass der hier postulierte technische Kennerblick und die damit einhergehende technische Intuition sich nicht allein im alltäglichen Umgang mit der Technik herstellen lässt. Auch in Anknüpfung an die Deutungen POLANYIS und RHEINBERGERS muss eine entsprechende Intuition erst entwickelt werden. Dafür bedarf es, so das abschließende Plädoyer dieser Studie, eines geeigneten pädagogischen Rahmens, den ich unter dem Begriff von „Bildung als Verzögerung“ abschließend in Aussicht stellen will.

7. Technikbildung als Verzögerung

Bildung, so der Bildungsanspruch der strukturalen Bildungstheorie, „bringt Unbestimmtheitsdimensionen zur Geltung“, genau das mache ihren „offenen, experimentellen und suchenden Charakter aus. Intakte Routinen der Selbst- und Weltauslegung werden gerade in Bildungsprozessen außer Kraft gesetzt; sie werden würdig, befragt zu werden, also fragwürdig“ (Marotzki 1990, S. 153). Ein solches Befragen und Fragwürdigmachen digitaltechnischer Strukturen kann aufgrund ihrer Intransparenzen häufig nur synthetisch, das heißt kreativ gestaltend, tentativ, spielerisch und experimentell erfolgen. Solche erfahrungsisierten Ansätze benötigen aber Freiräume – und Zeit.

Das aktive, Erkenntnisobjekte transformierende Denken und Experimentieren benötigt Zeit. Diesen aktiven Denkprozess beschreibt DEWEY auch als „verzögertes Handeln“ (Dewey 1998, S. 223). Verzögertes Handeln ist eine „jetzt stattfindende Erkundungs-handlung“, durch die eine problematische Situation „in einen Untersuchungsgegenstand verwandelt“ wird, „der das Problem lokalisiert und dadurch den Entwurf von Methoden und Mitteln zu seiner Bewältigung erleichtert“ (ebd., S. 223). Wissenschaftliches Handeln kann DEWEY zufolge dadurch definiert werden, dass sie „imstande ist, das Zweifelhafte zu genießen“ sowie „produktiven Gebrauch vom Zweifel zu machen, indem sie ihn in Operationen bestimmter Forschung verwandelt“ (ebd., S. 228). Auch ein solcher Genuss des Zweifels benötigt allerdings Freiräume und Zeit.

Demgegenüber sah sich vor allem der Ansatz einer *reflection-in-action* dem Vorwurf ausgesetzt, sie würde das *Tun paralysieren*. Diese Sicht verweist SCHÖN zufolge allerdings auf eine ungerechtfertigte Trennung der komplementären Prozesse von Handeln und Denken (vgl. Schön 1983, S. 281). SCHÖN hat NEUWEG zufolge aber recht, wenn er darauf hinweist (vgl. ebd., S. 278 f.), „dass das, was man in der professionellen Praxis als ‚action‘ bezeichnet, zumeist einen Prozess mit erheblicher zeitlicher Erstreckung meint“. So sei beispielsweise die „Diagnose und Therapie einer Krankheit durch den Mediziner [...] oder der Umgang eines Lehrers mit einem schwierigen Schüler“ ein Prozess, „in denen Phasen unmittelbaren Handlungsdrucks mit solchen wechseln, die Gelegenheit für reflexive Prozesse geben“ (Neuweg 2020, S. 339). Gedeutet ist damit auch auf die zeitlichen Bedingungen dessen, was in dieser Studie unter dem Begriff der Erfahrung sowie der Entwicklung von Intuition bzw. eines Kennerblicks diskutiert wurde.

Zugleich bieten weder Technik als Medium, das etwas zum Erscheinen bringt, dabei aber selbst „verschwindet“, noch technische Expertensysteme, die darauf angelegt sind, diese weitgehend reflexionslos nutzen zu können, „von selbst an“, sich reflexiv mit ihnen auseinanderzusetzen. Auf der anderen Seite liegt das Spezifische jener ambivalenten digitalen Technik ja gerade auch darin, dass sie – prinzipiell – auf offenen, flexiblen Strukturen basiert, die adaptierbar sind, denen man sich spielerisch und tentativ durch eigenes Konfigurieren und Rekonfigurieren nähern kann. Die dabei erforderlichen experimentellen Prozesse einer „produktive[n] Verwicklung“ (Allert/Asmussen 2017, S. 27 f.) mit der Technik sowie auch kreative Aneignungsprozesse erfordern aber ebenfalls Freiräume, insofern ja gerade erfahrungsisierte Herangehensweisen nicht darin bestehen, kodifizier-

tes Wissen bzw. Handlungsvorschriften einfach zu emulieren, sondern sich dieses auf Grundlage eigener Interessen und Projekte, durch forschende Neugier, Ausprobieren und Anpassen zu *eigen* zu machen.

Andreas GRUSCHKA schreibt in seiner Schrift *Erziehen heißt Verstehen lehren* (2019) über die Aufgabe der Schule als Schonraum, der für das Lernen gerade jene forschende, tentative Haltung, von der auch DEWEY spricht, ermöglichen soll: „Der pädagogische Sinn der Schule als einer Institution, die sich vom alltäglichen Lebensvollzug bewusst distanziert und einen Schonraum bildet, wird erst dort voll erfasst, wo das reflexive Verhältnis des Heranwachsenden zur Welt zureichend mitbedacht wird. Die Welt wird in ihr zum Beobachtungs-, Interpretations-, Erklärungsfall. Vom Handlungsdruck von draußen befreit, kann hier nachgedacht, projektiert, spekuliert, untersucht werden. Es geht dabei um nichts weniger als um die Herausbildung eines sachlich möglichst weit und tief durch Einsichten entfalteten Ich-Welt-Verhältnisses“ (ebd., S. 32 f.). Seymour PAPERT monierte in diesem Zusammenhang die häufig wenig auf offenes Experimentieren gerichteten Strukturen institutionellen, formalen Lernens und plädierte für den schulischen Einsatz von Computern als Experimentalraum und Medium zur Veräußerlichung eigener Ideen: “The intellectual environments offered to children by today’s cultures are poor in opportunities to bring their thinking about thinking into the open, to learn to talk about it, and to test their ideas by externalizing them. Access to computers can dramatically change this situation” (Papert 2020, S. 29). Heidrun ALLERT und Michael ASMUSSEN weisen darauf hin, dass gestalterische Produktivität in Bildungskontexten heute vor allem in Räumen außerhalb der Schule verortet werden, die paradoixerweise als solche gelten, „in denen wir unproduktiv sind“ (Allert/Asmussen 2017, S. 32). Gerade Produktivräume wie Makerspaces oder FabLabs werden hier in außerschulische Kontexte verlagert, während gestalterische Produktivität aus den institutionellen, formalen Bildungskontexten als *unproduktiv* verbannt werden (vgl. ebd., S. 33). Es sind also im Wesentlichen die informellen Orte, in denen Freiheiten für kreative Produktionsprozesse mit digitaler Technik und damit Anlässe einer technikbezogenen bildenden Erfahrung geschaffen werden. Die Möglichkeiten für Bildungssubjekte, ein reflexives Verhältnis zur digitalen Technik zu entwickeln, in gesonderte Nischen zu verlagern, wird aber weder dem gesellschaftlichen Durchdringungscharakter digitaler Technik gerecht noch der Zielvorstellung eines reflexiven Handlungsvermögens, das letztlich das als notwendig erachtete *sachgerechte, selbstbestimmte, kreative und sozial verantwortliche* Handeln mit digitalen Medien und digitaler Technik erlaubt (vgl. Tulodziecki 2011, S. 23). Dass Lernende durch heutige Computertechnik angeregt werden, sich als Epistemologinnen und Epistemologen zu betätigen, ist PAPERT zufolge nämlich *keine zwangsläufige Entwicklung*, sondern eine (bildungs-)politische Entscheidung (vgl. Papert 2020, S. 31) und eine Entscheidung über die „kind of environments created around them“ (ebd., S. 32).

Für Bildung im Sinne eines Erfahrungsprozesses ist Andreas DÖRPINGHAUS zufolge „die Zeitstruktur der Verzögerung konstitutiv, ja selbst das kluge und reflektierte Handeln ist von der Möglichkeit der Verzögerung der Unmittelbarkeit abhängig“ (Dörpinghaus 2013, S. 94). Zwar erlaube derzeit die „Abkehr von einer Bildung als Verzögerung

,raschere‘ Kompetenzen“, insofern „[o]utputorientierte Bildungsstandards [...] konzeptionell keine Umstände“ machen. Outputorientierte Bildung ist dabei vor allem durch ein „Zeitdispositiv gesteuert in dem keiner mit irgendetwas fertig werden darf und das in der Trivialformel, dass ein Leben lang gelernt werde, ihren Ausdruck findet“. Damit werden Schulen und Hochschulen aber zu „Zeitdisziplinaranstalten“ und „Lernfabriken“. Bildung als Verzögerung dagegen „ist die Unterbrechung und das Außerkraftsetzen der polizeilichen Logik und der Einbruch einer anderen Zeitgestalt. Bildung ist ein reflexives Verhältnis, das wir gewinnen, wenn wir über uns, andere Menschen und die Welt ins Nachdenken geraten“ (ebd., S. 94).

Das gilt heute vor dem Hintergrund von Technik und digitaler Technik als „Weltbildung“ (Euler 1999, S. 14) umso mehr, denn wenn leistungsstarke und zunehmend mächtiger in menschliche Lebensverhältnisse eingreifende, Lebenswelten formierende Techniken *Leistung ohne Einsicht* ermöglichen, so müsste es vielmehr zur Bildungsaufgabe – auch der formalen Bildungsinstitutionen – werden, einen Leistungsverzicht um der Einsicht *in* die Technik willen zu ermöglichen. Für die Frage nach Reflexions- und Bildungsmöglichkeiten in Bezug auf die digitale Technik heißt dies u. a., dass eine ihre Funktionsweisen zunehmend verborgende Technik sich nicht einfach im alltäglichen Gebrauch „mitreflektieren“ lässt, sondern auch dedizierte – hier als pädagogisch gedachte – Räume und Zeiten benötigt, in denen ein Blick auf die Technik als Erkenntnisobjekt und nicht lediglich als Mittel möglich wird und in denen sich bildungsförderliche Verbindungen zwischen Technik als Mittel zur Realisierung eigener Handlungsinteressen und Technik als Erkenntnisobjekt knüpfen lassen. Bewerkstelligen lässt sich dies, so das Fazit dieser Studie, nur aus der Position einer interessengeleiteten, forschungsorientierten Grundhaltung und zugleich erfahrungsbasierten, experimentellen und produktiven Verwicklung mit der Technik.

Werden Bildungsinstitutionen mit Blick auf die digitale Technik zu ‚Schonräumen‘, so sollte dies also mitnichten heißen, digitale Technik aus diesen zu verbannen – wie immer wieder zu lesen (vgl. GBW 2023). Es bedeutet, dass gerade auch in formalen Bildungskontexten Räume und Zeiten zur Verfügung stehen, Technik auszuprobieren, kreativ, forschend und gemäß eigener Interessen damit umzugehen und die dabei gemachten Erfahrungen reflektieren zu können. Zugute kommt Lernenden dabei die interpretative Flexibilität digitaltechnischer Strukturen, ihre Konfigurierbarkeit und Programmierbarkeit, ihre zugänglichen Oberflächen sowie ihre Generativität. Sie eröffnen ein „*Spiel der Möglichkeiten*“ (Rohbeck 1993, S. 224; H. i. O.), neue Perspektiven auf Erkenntnisgegenstände und Abduktionsanlässe, die sich auch für ein Nachdenken *über* Technik nutzen lassen. Die Analyse des digitalen Wandels in den Wissenschaften hat Möglichkeiten der erkenntnisorientierten, interessengeleiteten, experimentellen und tentativen Nutzung digitaltechnischer Strukturen und Infrastrukturen sowie Potentiale und Grenzen von Orientierungsmöglichkeiten innerhalb dieser Strukturen aufgezeigt. Diese Möglichkeitsräume gilt es für Bildungskontexte nutzbar zu machen und zugleich die Reflexion über ihre strukturierenden Bedingungen, Ambivalenzen und Widersprüche zu ermöglichen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: links: Autoradiogramm eines Ausschnitts der DNA-Sequenz des Phagen ØX174 (Quelle: Rheinberger 2007, S. 120); rechts: Nukleotide Sequenz eines DNA-Strangs (Quelle: Rheinberger 2007, S. 122)	152
Abbildung 2: 3D-Darstellung eines Molekül-Modells (Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Molekulare_Modellierung#/media/Datei:Molecular_Modeling.png; Attribution und Lizenz: Doug Hatfield; derivative work: Dhatfield (talk) MM_PEF.svg: Edboas (commons.wikimedia.org/wiki/File:Molecular_Modeling.png), „Molecular Modeling“, Attribution-ShareAlike 3.0 Unported: creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode).....	236
Abbildung 3: Simulationspipeline (Quelle: eigene Darstellung nach Winsberg 2010, S. 11)	242

Literaturverzeichnis

- Abdel-Karim, Benjamin M. (2021): From Machine Learning to Machine Teaching. Cumulative Dissertation. Belegexemplar Universitätsbibliothek J. C. Senckenberg. Frankfurt am Main.
- Ackermann, Edith (1996): Perspective-Taking and Object Construction: Two Keys to Learning. In: Kafai, Yasmin B./Resnick, Mitchel (Hrsg.): Constructionism in Practice. Designing, Thinking, and Learning in A Digital World. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, S. 25–37.
- Ahborn, Juliane (2023): Zur (Un-)Berechenbarkeit der Künste. Wie algorithmische Strukturen die Bedingungen für Ästhetik und ästhetische Bildung verändern. In: de Witt, Claudia/Gloerfeld, Christina/Wrede, Silke Elisabeth (Hrsg.): Künstliche Intelligenz in der Bildung. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 69–88.
- Ahrens, Sönke (2014): Experiment und Exploration. Bildung als experimentelle Form der Welterschließung. Bielefeld: transcript Verlag.
- Alemany, Ulrich (1994): Grundlagen der Politikwissenschaft. Ein Wegweiser. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Allert, Heidrun/Asmussen, Michael (2017): Bildung als produktive Verwicklung. In: Allert, Heidrun/Asmussen, Michael/Richter, Christoph (Hrsg.): Digitalität und Selbst. Interdisziplinäre Perspektiven auf Subjektivierungs- und Bildungsprozesse. Bielefeld: transcript Verlag, S. 27–68.
- Alpsancar, Suzana (2014): Das Ding namens Computer. Eine kritische Neulektüre von Vilém Flusser und Mark Weiser. Bielefeld: transcript Verlag.
- Anders, Günther (1961): Die Antiquiertheit des Menschen. Über die Seele im Zeitalter der zweiten industriellen Revolution (Band 1). München: Beck.
- Anderson, Chris (2008): The End of Theory. The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete. In: Wired, 6. wired.com/2008/06/pb-theory.
- Andorfer, Peter (2017): Turing Test für das Topic Modeling. Von Menschen und Maschinen erstellte inhaltliche Analysen der Korrespondenz von Leo von Thun-Hohenstein im Vergleich. In: Zeitschrift für digitale Geisteswissenschaften (text/html Format). zfdg.de/2017_002.
- Antonijevic, Smiljana/Cahoy, Ellysa Stern (2018): Researcher as Bricoleur: Contextualizing humanists' digital workflows. In: Digital Humanities Quarterly, 12 (3), Abs. 1–61. digitalhumanities.org/dhq/vol/12/3/000399/000399.html.
- Aristoteles (2006): Nikomachische Ethik (übersetzt und herausgegeben von Ursula Wolf). Reinbek: Rowohlt.
- Austin, John L. (1972): Zur Theorie der Sprechakte (How to do things with Words). Stuttgart: Reclam.

- Baacke, Dieter (1973): Kommunikation und Kompetenz. Grundlegung einer Didaktik der Kommunikation und ihrer Medien. München: Juventa Verlag.
- Baacke, Dieter (1996): Medienkompetenz – Begrifflichkeit und sozialer Wandel. In: Rein, Antje von (Hrsg.): Medienkompetenz als Schlüsselbegriff. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 112–124.
- Baecker, Dirk (2007): Studien zur nächsten Gesellschaft. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Baek, Minkyung/DiMaio, Frank/Anishchenko, Ivan/Dauparas, Justas/Ovchinnikov, Sergey/Lee, Guy Rie/Wang, Jue/Cong, Qian/Kinch, Lisa N/Schaeffer, R. Dustin/Millán, Claudia/Park, Hahn-beom/Adams, Carson/Glassman, Caleb R./DeGiovanni, Andy/Pereira, Jose H./Rodrigues, Andria V./van Dijk, Alberdina A./Ebrecht, Ana C./Opperman, Diederik J./Sagmeister, Theo/Buhlheller, Christoph/Pavkov-Keller, Tea/Rathinaswamy, Manoj K./Dalwadi, Udit/Yip, Calvin K./Burke, John E./Garcia, K. Christopher/Grishin, Nick V./Adams, Paul D./Read, Randy J./Baker, David (2021): Accurate prediction of protein structures and interactions using a three-track neural network. In: Science, 373 (6557), S. 871–876. doi.org/10.1126/science.abj8754.
- Baltzer, Pascal A. T. (2021): Künstliche Intelligenz in der Mammadiagnostik. Anwendungsgebiete aus klinischer Perspektive. In: Der Radiologe, 61 (2), S. 192–198.
- Balzer, Wolfgang (2009): Die Wissenschaft und ihre Methoden. Grundsätze der Wissenschaftstheorie. Ein Lehrbuch. Freiburg/München: Verlag Karl Alber.
- Bammé, Arno (2014): Erkenntnis durch Handeln. John Deweys Erneuerung der Philosophie. In: Lengersdorf, Diana/Wieser, Matthias (Hrsg.): Schlüsselwerke der Science & Technology Studies. Wiesbaden: Springer VS, S. 39–52.
- Bammé, Arno/Baumgartner, Peter/Berger, Wilhelm/Kotzmann, Ernst (1987): Technologische Zivilisation. Eine Einführung. In: Bammé, Arno/Baumgartner, Peter/Berger, Wilhelm/Kotzmann, Ernst (Hrsg.): Technologische Zivilisation. München: Profil, S. 11–58.
- Barberi, Alessandro (2018): Performanz und Medienkompetenz. Dieter Baackes Grundlegung der Medienpädagogik als Diskurspragmatik (Dissertation). Aachen: RWTH. doi.org/10.18154/RWTH-2018-229084.
- Barthélémy, Jean-Hugues (2011): Simondon. Ein Denken der Technik im Dialog mit der Kybernetik. In: Hörl, Erich (Hrsg.): Die technologische Bedingung. Beiträge zur Beschreibung der technischen Welt. Berlin: Suhrkamp, S. 93–109.
- Bateson, Gregory (1984): Geist und Natur. Eine notwendige Einheit. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Baumgartner, Peter (1993): Der Hintergrund des Wissens. Vorarbeiten zu einer Kritik der programmierbaren Vernunft. Klagenfurt: Kärntner Druck- und Verlagsgesellschaft. peter.baumgartner.name/book-de.
- Baumgartner, Peter (2001): Studieren und Forschen mit dem Internet – Wissensmanagement in der Informationsgesellschaft. In: Hug, Theo (Hrsg.): Wie kommt Wissenschaft zu Wissen? Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten (Band 1). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 311–324.
- Bausch, Constanze/Jörissen, Benjamin (2005): Das Spiel mit dem Bild. Zur Ikonologie von Action-Computerspielen. In: Wulf, Christoph/Zirfas, Jörg (Hrsg.): Ikonologie des Performativen. München: Fink, S. 345–364.
- Beer, David (2017): The social power of algorithms. In: Information, Communication & Society, 20 (1), S. 1–13. doi.org/10.1080/1369118X.2016.1216147.
- Beer, David (2022): The problem of researching a recursive society. Algorithms, data coils and the looping of the social. In: Big Data & Society, 9 (2), S. 1–5. doi.org/10.1177/20539517221104997.
- Benedikter, Roland (2001): Das Verhältnis zwischen Geistes-, Natur-, und Sozialwissenschaften. In: Hug, Theo (Hrsg.): Wie kommt Wissenschaft zu Wissen? Einführung in die Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsforschung (Band 4). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 137–159.
- Benner, Dietrich (1990): Wissenschaft und Bildung. Überlegungen zu einem problematischen Verhältnis und zur Aufgabe einer bildenden Interpretation neuzeitlicher Wissenschaft. In: Zeitschrift für Pädagogik, 36 (4), S. 597–620.
- Benner, Dietrich (2020): Umriss der allgemeinen Wissenschaftsdidaktik. Grundlagen und Orientierungen für Lehrerbildung, Unterricht und Forschung. Weinheim/Basel: Beltz Juventa.

- Berliner Methodentreffen (2023): Programm 2023. berliner-methodentreffen.de/ablauf-2023.
- Berners-Lee, Tim (2009a): Interview with Tim Berners-Lee for the 20th anniversary of the World Wide Web. home.cern/resources/video/computing/interview-tim-berners-lee-20th-anniversary-world-wide-web.
- Berners-Lee, Tim (2009b): The Semantic Web as a language of logic. w3.org/DesignIssues/Logic.html.
- Berners-Lee, Tim/Cailliau, Robert/Luotonen, Ari/Nielsen, Henrik/Frystyk/Secret, Arthur (1994): The World-Wide Web. In: Communications of the ACM, 37 (8), S. 76–82.
- Bernhart, Toni/Willand, Marcus/Richter, Sandra/Albrecht, Andrea (2018): Einleitung: Quantitative Ansätze in den Literatur- und Geisteswissenschaften. In: Bernhart, Toni/Willand, Marcus/Richter, Sandra/Albrecht, Andrea (Hrsg.): Quantitative Ansätze in den Literatur- und Geisteswissenschaften. Systematische und historische Perspektiven. Berlin/Boston: De Gruyter, S. 1–7.
- Berry, David M. (2011): The Computational Turn. Thinking About The Digital Humanities. In: Culture Machine, 12 (The Digital Humanities: Beyond Computing), S. 1–22. culturemachine.net/wp-content/uploads/2019/01/10-Computational-Turn-440-893-1-PB.pdf.
- Berry, David M. (2012): Understanding Digital Humanities. Basingstoke/New York: Palgrave Macmillan.
- Berry, David M. (2015): Critical Theory and the Digital. New York, NY/London/New Delhi/Sydney: Bloomsbury.
- Bettinger, Patrick/Hugger, Kai-Uwe (2020): Praxistheoretische Perspektiven in der Medienpädagogik. Wiesbaden/Heidelberg: Springer VS.
- Bischof, Christian/Formanek, Nico/Gehring, Petra/Herrmann, Michael/Hubig, Christoph/Kaminski, Andreas/Wolf, Felix (2017): Computersimulationen verstehen. Ein Toolkit für interdisziplinär Forschende aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt. uprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/6079.
- bitkom (2024): Markt rund um Smartphones wächst auf 38,9 Milliarden Euro. Berlin. bitkom.org/Presse/Presseinformation/Markt-Smartphones-waechst.
- Blömeke, Sigrid (2000): Medienpädagogische Kompetenz. Theoretische und empirische Fundierung eines zentralen Elements der Lehrerausbildung. München: kopaed.
- Blumenberg, Hans (1952): Philosophischer Ursprung und philosophische Kritik des Begriffs der wissenschaftlichen Methode. In: Studium Generale. Zeitschrift für die Einheit der Wissenschaften im Zusammenhang ihrer Begriffsbildungen und Forschungsmethoden, 5 (3), S. 133–142.
- Blumenberg, Hans (2015a): Das Verhältnis von Natur und Technik als philosophisches Problem. In: Schmitz, Alexander/Stiegler, Bernd (Hrsg.): Schriften zur Technik. Berlin: Suhrkamp, S. 17–29.
- Blumenberg, Hans (2015b): Schriften zur Technik. Berlin: Suhrkamp.
- Blumenberg, Hans (2015c): Technik und Wahrheit. In: Schmitz, Alexander/Stiegler, Bernd (Hrsg.): Schriften zur Technik. Berlin: Suhrkamp, S. 42–50.
- Blumenberg, Hans (2020): Lebenswelt und Technisierung unter Aspekten der Phänomenologie. In: Wirklichkeiten in denen wir leben. Aufsätze und eine Rede. Stuttgart: Reclam, S. 9–58.
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021): Hoch- und Höchstleistungsrechnen für das digitale Zeitalter. Forschung und Investitionen zum High-Performance-Computing. Berlin. bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/5/31669_Hoch_und_Hoechstleistungsrechnen_fuer_das_digitale_Zeitalter.pdf?__blob=publicationFile&v=7.
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Richtlinie zur Förderung von Projekten zum Aufbau von Datenkompetenzzentren in der Wissenschaft. Berlin. bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2022/06/2022-06-21-Bekanntmachung-Datenkompetenzen-tren.html?view=renderNewsletterHtml.
- BMI – Bundesministerium des Innern und für Heimat (o. J.a): Behördengänge online erledigen: E-Government. Berlin. bmi.bund.de/DE/themen/moderne-verwaltung/e-government/e-government-node.html.
- BMI – Bundesministerium des Innern und für Heimat (o. J.b): Dashboard Digitale Verwaltung. Berlin. digitale-verwaltung.de/Webs/DV/DE/aktuelles-service/dashboard_digitale_verwaltung/dashboard.html;jsessionid=AA88AF3D01A27CA6E05815E9CB5DB05D.live862.

- Bock, Indra/Mayer, Henning (2020): Humanoide Roboter und virtuelle Agenten als Kommunikationsteilnehmer? Konversationsanalytische Studien der Mensch-Maschine-Interaktion. In: Ahner, Helen/ Metzger, Max/Nolte, Mathis (Hrsg.): Von Menschen und Maschinen: Interdisziplinäre Perspektiven auf das Verhältnis von Gesellschaft und Technik in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Proceedings der 3. Tagung des Nachwuchsnetzwerks „INSIST“, 05.–07. Oktober 2018. Karlsruhe: INSIST- Proceedings, 3, S. 159–182.
- Böhm, Hans-Joachim/Klebe, Gerhard/Kubinyi, Hugo (2002): Wirkstoffdesign. Der Weg zum Arzneimittel. Heidelberg/Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Böhme, Gernot (2008): Invasive Technisierung. Technikphilosophie und Technikkritik. Kusterdingen: SFG-Servicecenter Fachverlage.
- Böhme, Gernot/van den Daele, Wolfgang/Krohn, Wolfgang (1978): Die Verwissenschaftlichung von Technologie. In: Böhme, Gernot/van den Daele, Wolfgang/Hohlfeld, Rainer/Krohn, Wolfgang/Schäfer, Wolf/Spengler, Tilman (Hrsg.): Starnberger Studien I. Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 339–375.
- Bohnsack, Ralf (2013): Die dokumentarische Methode und ihre Forschungspraxis. Grundlagen qualitativer Sozialforschung. Dordrecht: Springer.
- Bortz, Jürgen/Schuster, Christof (2010): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Limitierte Sonderausgabe. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Boulboullé, Guido (2015): Das Museum ein Experimental system? Überlegungen zu einem Ausstellungsprojekt. Naturwissenschaft im Visier der Kunst. In: Kittlausz, Viktor/Pauleit, Winfried (Hrsg.): Kunst – Museum – Kontexte. Perspektiven der Kunst- und Kulturvermittlung. Bielefeld: transcript Verlag, S. 153–161.
- Bourdieu, Pierre (1987): Sozialer Sinn. Kritik der theoretischen Vernunft. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag.
- Bourdon, Sylvain (2002): The Integration of Qualitative Data Analysis Software in Research Strategies. Resistances and Possibilities. In: Forum Qualitative Sozialforschung, 3 (2), S. 1–12. doi.org/10.17169/fqs-3.2.850.
- boyd, danah/Crawford, Kate (2013): Big Data als kulturelles, technologisches und wissenschaftliches Phänomen. Sechs Provokationen. In: Geiselberger, Heinrich/Moorstedt, Tobias (Hrsg.): Big Data. Das neue Versprechen der Allwissenheit. Berlin: Suhrkamp Verlag, S. 187–218.
- Brehmer, Johann (2021): Simulation-based inference in particle physics. In: Nature Reviews Physics, 3 (5), S. 305.
- Brennan, Karen/Resnick, Mitchel (2012): New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. In: Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association, Vol. 1, Vancouver, 13-17 April 2012, S. 1–25. scratched.gse.harvard.edu/ct/files/AERA2012.pdf.
- Brinda, Torsten/Brüggen, Niels/Diethelm, Ira/Knaus, Thomas/Kommer, Sven/Kopf, Christine/Missomelius, Petra/Leschke, Rainer/Tilemann, Friederike/Weich, Andreas (2020): Frankfurt-Dreieck zur Bildung in der digital vernetzten Welt. Ein interdisziplinäres Modell. In: Knaus, Thomas/Merz, Olga (Hrsg.): Schnittstellen und Interfaces. Digitaler Wandel in Bildungseinrichtungen (Band 7 der fraMedia-Reihe). München: kopaed, S. 157–167.
- Brückling, Guido/Fries, Rüdiger/Narr, Kristin (2023): Mit Medienbildung die Welt retten?! Medienpädagogik in einer Kultur der Digitalität. München: kopaed.
- Brödner, Peter (2022): „Informatik“ – eine Wissenschaft auf Abwegen. In: Banse, Gerhard/Fuchs-Kittowski, Klaus (Hrsg.): Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik. Digitale Medien und die Zukunft der Kultur wissenschaftlicher Tätigkeit. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, S. 257–274.
- Brühl, Rolf (2021): Wie Wissenschaft Wissen schafft. Wissenschaftstheorie und Ethik für die Sozial- und Wirtschaftswissenschaften. Konstanz/München: UTB.
- Brunn, Axel (2019): After the ‘APIcalypse’: social media platforms and their fight against critical scholarly research. In: Information, Communication & Society, 22 (11), S. 1544–1566.

- Buckingham, David (2015): Why children should NOT be taught to code (Blogbeitrag). davidbuckingham.net/2015/07/13/why-children-should-not-be-taught-to-code.
- Budde, Jürgen/Hietzge, Maud Corinna/Kraus, Anja/Wulf, Christoph (2021): ‚Schweigendes‘ Wissen in Lernen und Erziehung, Bildung und Sozialisation. Einführung. In: Kraus, Anja/Budde, Jürgen/Hietzge, Maud Corinna/Wulf, Christoph (Hrsg.): Handbuch Schweigendes Wissen. Erziehung, Bildung, Sozialisation und Lernen. Weinheim: Beltz, S. 11–15.
- Bünger, Carsten (2009): Emanzipation im Widerspruch. Notizen zur Dialektik von Überschreitung und Verstrickung. In: Bünger, Carsten/Euler, Peter/Gruschka, Andreas/Pongratz, Ludwig A./Heydorn, Heinz-Joachim (Hrsg.): Heydorn lesen! Herausforderungen kritischer Bildungstheorie. Paderborn/München/Wien/Zürich: Ferdinand Schöningh, S. 171–190.
- Bunz, Mercedes (2017): Die stille Revolution. Wie Algorithmen Wissen, Arbeit, Öffentlichkeit und Politik verändern, ohne dabei viel Lärm zu machen. Berlin: Suhrkamp.
- Burdick, Anne/Drucker, Johanna/Lunenfeld, Peter/Presner, Todd/Schnapp, Jeffrey Samuel/Schnapp, Jeffrey T. (2012): Digital_Humanities. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Burghardt, Manuel/Dieckmann, Lisa/Steyer, Timo/Trilcke, Peer/Walkowski, Niels-Oliver/Weis, Joëlle/Wuttke, Ulrike (2021): Vorwort. In: Burghardt, Manuel/Dieckmann, Lisa/Steyer, Timo/Trilcke, Peer/Walkowski, Niels-Oliver/Weis, Joëlle/Wuttke, Ulrike (Hrsg.): Fabrikation von Erkenntnis. Experimente in den Digital Humanities (Zeitschrift für digitale Geisteswissenschaften, Sonderband 5). Wolfenbüttel: Zeitschrift für digitale Geisteswissenschaften – ZfdG, o. S. zfdg.de/sb005_001.
- Burkhardt, Marcus (2017): Vorüberlegungen zu einer Kritik der Algorithmen an der Grenze von Wissen und Nichtwissen. In: Friedrich, Alexander/Gehring, Petra/Hubig, Christoph/Kaminski, Andreas/Nordmann, Alfred (Hrsg.): Technisches Nichtwissen. Baden-Baden: Nomos, S. 55–67.
- Burks, Arthur W./Goldstine, Herman H./Neumann, John (1982): Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument. In: Randell, Brian (Hrsg.): The Origins of Digital Computers. Selected Papers. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 399–413.
- Burrows, John (2002): ‘Delta’: a Measure of Stylistic Difference and a Guide to Likely Authorship. In: Literary and Linguistic Computing, 17 (3), S. 267–287.
- Butler, Judith (2022): Haß spricht. Zur Politik des Performativen. Berlin: Suhrkamp Verlag.
- Büttner, Andreas/Dimpel, Friedrich Michael/Evert, Stefan/Jannidis, Fotis/Pielström, Steffen/Proisl, Thomas/Reger, Isabella/Schöch, Christof/Vitt, Thorsten (2017): „Delta“ in der stilometrischen AutorschaftsAttribution. text/html Format. In: Zeitschrift für digitale Geschichtswissenschaften. zfdg.de/2017_006.
- BVerfG 35, 79 (1973): Hochschul-Urteil. dejure.org/dienste/vernetzung/rechtsprechung?Gericht=BverfG&Datum=29.05.1973&Aktenzeichen=1%20BvR%20424%2F71.
- Cantwell Smith, Brian (1998): On the Oigin of Objects. Cambridge/London/London: The MIT Press.
- Cassirer, Ernst (1910): Substanzbegriff und Funktionsbegriff. Untersuchungen über die Grundfragen der Erkenntniskritik. Berlin: Bruno Cassirer.
- Cassirer, Ernst (2011): Zur Logik der Kulturwissenschaften. Mit einem Anhang: Naturalistische und humanistische Begründung der Kulturphilosophie. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Castells, Manuel (2017): Der Aufstieg der Netzwerkgesellschaft. Das Informationszeitalter. Wirtschaft. Gesellschaft. Kultur (Band 1). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Castells, Manuel (2021): Die Internet-Galaxie. Internet, Wirtschaft und Gesellschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- CERN (o. J.a): A short history of the Web. home.cern/science/computing/birth-web/short-history-web.
- CERN (o. J.b): About the Worldwide LHC Computing Grid. wlcg-public.web.cern.ch/about.
- CERN (o. J.c): The birth of the Web. home.cern/science/computing/birth-web.
- Chalmers, Alan F. (2007): Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Chalmers, Alan F. (2013): What Is This Thing Called Science? Chicago: University of Queensland Press.

- Chatfield, Tom (2013): 50 Schlüsselideen. Digitale Kultur. Heidelberg: Springer.
- Chen, Muyuan (2023): Rendering protein structures inside cells at the atomic level with Unreal Engine (Preprint from bioRxiv, 11 Dec 2023). doi.org/10.1101/2023.12.08.570879.
- Chiapello, Laureline/Bousbaci, Rabah (2022): It's complicated: Dewey, Schön and reflection-in-action. In: Lockton, Dan/Lenzi, Sara/Hekkert, Paul/Oak, Arlene/Sádaba, Juan/Lloyd, Peter (Hrsg.): DRS2022: Bilbao. Bilbao: Design Research Society, S. 1–15.
- Chomsky, Noam (2002): Syntactic Structures. Berlin/New York: Mouton de Gruyter. doi.org/10.1515/9783110218329.
- Chomsky, Noam (2006): Language and mind. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Chun, Wendy Hui Kyong (2011): Programmed visions. Software and memory. Cambridge/London: The MIT Press.
- Cohen, Daniel J. (2005): Do APIs Have a Place in the Digital Humanities? (Blogbeitrag). dancohen.org/2005/11/21/do-apis-have-a-place-in-the-digital-humanities.
- Collins, Harry (2010): Tacit and Explicit Knowledge. Chicago: University of Chicago Press.
- Comenius, Johann Amos (2014): Orbis sensualium pictus (herausgegeben von Uwe Sandfuchs). München: Verlag Julius Klinkhardt.
- Cormen, Thomas H./Leiserson, Charles Eric/Rivest, Ronald Linn/Stein, Clifford (2013): Algorithmen – eine Einführung. München: Oldenbourg Verlag.
- Coy, Wolfgang (1995): Automat – Werkzeug – Medium. In: Informatik Spektrum, 18 (1), S. 31–38.
- Dander, Valentin (2018): Ideologische Aspekte von „Digitalisierung“. Eine Kritik des bildungspolitischen Diskurses um das KMK-Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“. In: Leinweber, Christian/de Witt, Claudia (Hrsg.): Digitale Transformation im Diskurs. Kritische Perspektiven auf Entwicklungen und Tendenzen im Zeitalter des Digitalen. Hagen: FernUniversität in Hagen, S. 252–279.
- Dander, Valentin/Aßmann, Sandra (2015): Medienpädagogik und (Big) Data. Konsequenzen für die erziehungswissenschaftliche Medienforschung und -praxis. In: Gapski, Harald (Hrsg.): Big Data und Medienbildung. Zwischen Kontrollverlust, Selbstverteidigung und Souveränität in der digitalen Welt. Düsseldorf/München: kopaed, S. 33–50.
- Dasgupta, Sayamindu/Hale, William/Monroy-Hernández, Andrés/Hill, Benjamin Mako (2016): Remixing as a Pathway to Computational Thinking. In: Proceedings of the 19th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work & Social Computing, S. 1438–1449. arxiv.org/pdf/1605.08766.pdf.
- Davidson, Judith/di Gregorio, Silvana (2011): Qualitative Research and Technology: In the Midst of a Revolution. In: Denzin, Norman K./Lincoln, Yvonna S. (Hrsg.): The Sage Handbook of Qualitative Research. Los Angeles/London/New Delhi/Singapore/Washington DC: Sage, S. 627–644.
- de Witt, Claudia/Gloerfeld, Christina/Wrede, Silke Elisabeth (2023): Künstliche Intelligenz in der Bildung. Wiesbaden: Springer VS.
- de Witt, Claudia/Leineweber, Christian (2020): Zur Bedeutung des Nichtwissens und die Suche nach Problemlösungen. In: MedienPädagogik, 39 (Orientierungen in der digitalen Welt), S. 32–47.
- Deloitte (2023): Smartphone-Nutzung 2023. Von Gesundheitsdaten bis zur digitalen Brieftasche. [deloitte.com/de/de/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/mobile-nutzung-2023.html](https://www.deloitte.com/de/de/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/mobile-nutzung-2023.html).
- Denning, Peter J./Tedre, Matti (2019): Computational Thinking. Cambridge, Mass/London, England: The MIT Press.
- Denzin, Norman K./Lincoln, Yvonna S. (2018): Introduction: The Discipline and Practice of Qualitative Research. In: Denzin, Norman K./Lincoln, Yvonna S. (Hrsg.): The Sage Handbook of Qualitative Research. Los Angeles/London/New Delhi/Singapore/Washington DC/Melbourne: Sage, S. 29–71.
- Derbolav, Josef (1966): Das Problem einer philosophischen Grundlegung der Pädagogik. In: Stolte, Dieter/Wisser, Richard (Hrsg.): Integritas. Geistige Wandlung und menschliche Wirklichkeit. Tübingen: Rainer Wunderlich Verlag Hermann Leins, S. 124–141.
- Derrida, Jacques (1972): Die Schrift und die Differenz. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

- Derrida, Jacques (1974): Grammatologie. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Derrida, Jacques (2020): Signatur Ereignis Kontext. In: Engelmann, Peter (Hrsg.): Die différance. Ausgewählte Texte. Stuttgart: Reclam, S. 68–109.
- Descartes, René (2011): Discours de la méthode. Französisch – Deutsch. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Deutscher Bundestag (2018): Chancen und Risiken digitaler Medien in der Schule. Wissenschaftliche Dienste. bundestag.de/resource/blob/589210/03a2dfe453119fd2660701d2586f4c9b/wd-8-130-18-pdf-da-ta.pdf.
- Deutscher Ethikrat (2023): Mensch und Maschine – Herausforderungen durch Künstliche Intelligenz. Stellungnahme. ethikrat.org/fileadmin/Publikationen/Stellungnahmen/deutsch/stellungnahme-mensch-und-maschine.pdf.
- Dewey, John (1910): How We Think. London and Boston: D.C. Heath.
- Dewey, John (1929): Experience and Nature. London: George Allen & Unwin. archive.org/details/experiencenat029343mbp/page/n3/mode/2up.
- Dewey, John (1938): Logic. The Theory of Inquiry. New York, NY: Henry Holt.
- Dewey, John (1989): Die Erneuerung der Philosophie. Hamburg: Junius-Verl.
- Dewey, John (1998): Die Suche nach Gewißheit. Eine Untersuchung des Verhältnisses von Erkenntnis und Handeln. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Dewey, John (2008): Democracy and education. Radford, Virginia: Wilder Publications.
- Dewey, John (2011): Demokratie und Erziehung. Eine Einleitung in die philosophische Pädagogik (mit einer umfangreichen Auswahlbibliographie). Weinheim/Basel/Grünwald: Beltz.
- Dewey, John (2021): Kunst als Erfahrung. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Dewey, John/Bentley, Arthur F. (1949): Knowing and the Known. Boston: The Beacon Press.
- DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft (2019): Digitaler Wandel in den Wissenschaften. Expertenkommission. dfg.de/foerderung/grundlagen_rahmenbedingungen/digitaler_wandel/index.html#anker103601363.
- DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft (2020): Digitaler Wandel in den Wissenschaften. Bonn: Zenodo. zenodo.org/record/4191345.
- Dickel, Sascha/Franzen, Martina (2015): Wissenschaft im digitalen Wandel: Demokratisierung von Wissensproduktion und Wissensrezeption? WZB Discussion Paper. Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB). hdl.handle.net/10419/108962.
- Die Bundesregierung (2023): Neustart für die Digitalisierung im Gesundheitswesen. bundesregierung.de/breg-de/themen/erinnern-und-gedenken/digitalisierung-im-gesundheitswesen-2170324.
- Dippel, Anne (2017): Das Big Data Game: Zur spielerischen Konstitution kollaborativer Wissensproduktion in der Hochenergiephysik am CERN. In: NTM, 25 (4), S. 485–517.
- Distelmeyer, Jan (2021): Kritik der Digitalität. Wiesbaden/Heidelberg: Springer VS.
- Donig, Simon (2023): Der Digital Turn in den Geisteswissenschaften und seine Implikationen für Gedächtniseinrichtungen. In: Bibliothek Forschung und Praxis, 47 (3), S. 428–444.
- Donig, Simon/Rehbein, Malte (2022): Für eine „gemeinsame digitale Zukunft“. Eine kritische Verortung der Digital History. In: Geschichte in Wissenschaft und Unterricht, 72 (9/10), S. 527–545 (preprint 1–9). hcommons.org/deposits/item/hc:63935.
- Donner, Martin (2010): Rekursion und Wissen. zur Emergenz Technosozialer Netze. In: Ofak, Anna/Hilgers, Philipp von (Hrsg.): Rekursionen. München: Fink, S. 77–113.
- Dorffner, Georg (1991): Konnektionismus. Von neuronalen Netzwerken zu einer „natürlichen“ KI. Stuttgart: Teubner.
- Döring, Nicola/Bortz, Jürgen (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Dörpinghaus, Andreas (2013): Bildung. In: Lederer, Bernd (Hrsg.): „Bildung“ – was sie war, ist, sein sollte. Zur Bestimmung eines strittigen Begriffs. Fortführung der Diskussion. Baltmannsweiler: Schneider-Verlag Hohengehren, S. 85–98.

- Drößler, Stefan (2022): Open Access. Technikgetriebene Gesellschaftsutopie für die Transformation des wissenschaftlichen Publikationssystems. In: Mößner, Nicola/Erlach, Klaus (Hrsg.): Kalibrierung der Wissenschaft. Auswirkungen der Digitalisierung auf die wissenschaftliche Erkenntnis. Bielefeld: transcript Verlag, S. 79–101.
- Drucker, Johanna (2009): SpecLab. Digital aesthetics and projects in speculative computing. Chicago/London: University of Chicago Press.
- Drucker, Johanna (2011): Humanities Approaches to Graphical Display. In: Digital Humanities Quarterly, 5 (1), S. 1–52. digitalhumanities.org/dhq/vol/5/1/000091.html#p1.
- Drucker, Johanna (2020): Visualization and Interpretation. Humanistic Approaches to Display. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Dyson, George (2012): Turing's cathedral. The origins of the digital universe. New York NY: Vintage Books.
- Eder, Sabine/Mikat, Claudia/Tillmann, Angela (2017): Software Takes Command. Herausforderungen der „Datafizierung“ für die Medienpädagogik in Theorie und Praxis (Schriften zur Medienpädagogik). München: kopaed.
- Elnaggar, Ahmed/Heinzinger, Michael/Dallago, Christian/Rehawi, Ghalia/Wang, Yu/Jones, Llion/Gibbs, Tom/Fehér, Tamas/Angerer, Christoph/Steinegger, Martin/Bhowmik, Debsindhu/Rost, Burkhard (2022): ProtTrans: Toward Understanding the Language of Life Through Self-Supervised Learning. In: IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 44 (10), S. 7112–7127.
- Engel, Juliane/Kerres, Michael (2023): Bildung in der Nächsten Gesellschaft. In: Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik – LBzM, 23, S. 1–13. doi.org/10.21240/lbzm/23/04.
- Erlach, Klaus (2012): Die Geburt der Technik aus dem menschlichen Körper. In: Gerhard, Myriam/Zunke, Christine (Hrsg.): Die Natur des Menschen. Aspekte und Perspektiven der Naturphilosophie. Würzburg: Königshausen & Neumann, S. 49–72.
- Erlangen CRM/OWL (o. J.): About. erlangen-crm.org.
- Ernst, Christoph (2017): Medien und implizites Wissen. Einleitende Bemerkungen zu einer vielschichtigen Beziehung in der Ära des ubiquitous computing. In: Navigationen – Zeitschrift für Medien- und Kulturwissenschaften, 17 (2), S. 7–36.
- Ertel, Wolfgang (2021): Grundkurs Künstliche Intelligenz. Eine praxisorientierte Einführung. Wiesbaden: Springer.
- Euler, Peter (1999): Technologie und Urteilskraft. Zur Neufassung des Bildungsbegriffs. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- Euler, Peter (2001): Technologisierung als systematisches Problem der Bildung: Wider das bildungspolitische Kartell von Technologie und „Zukunft“. In: Bracht, Ulla/Keiner, Dieter (Hrsg.): Zukunft. Frankfurt am Main/Berlin/Bern/Brüssel/New York: Peter Lang, S. 221–232.
- Euler, Peter (2005): Interdisziplinarität als kritisches „Bildungsprinzip“ der Forschung: methodologische Konsequenzen. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis. Schwerpunkt: Method(olog)ische Fragen der Inter- und Transdisziplinarität, 14 (2), S. 63–68.
- Europäische Kommission (o. J.): Die Europeana-Plattform. digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/europeana.
- Europäische Kommission (2020): WEISSBUCH Zur Künstlichen Intelligenz – ein europäisches Konzept für Exzellenz und Vertrauen. eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0065.
- European Commission (o. J.): Aktionsplan für digitale Bildung (2021-2027). education.ec.europa.eu/de/focus-topics/digital-education/action-plan.
- Evans, Leighton/Rees, Sian (2012): An Interpretation of Digital Humanities. In: Berry, David M. (Hrsg.): Understanding Digital Humanities. Basingstoke/New York: Palgrave Macmillan, S. 21–41.
- Fechner, Martin/Weiß, Andreas (2017): Einsatz von Topic Modeling in den Geschichtswissenschaften: Wissensbestände des 19. Jahrhunderts. In: Zeitschrift für digitale Geisteswissenschaften, text/html Format (text/html Format). zfdg.de/2017_005.

- Ferrari, Anusca (2013): DIGCOMP. A Framework for Developing and Understanding Digital Competence in Europe. Luxembourg: Publications Office. publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC83167.
- Ferruz, Noelia/Schmidt, Steffen/Höcker, Birte (2022): ProtGPT2 is a deep unsupervised language model for protein design. In: *Nature communications*, 13 (4384), S. 1–10. doi.org/10.1038/s41467-022-32007-7.
- Feyerabend, Paul (1983): *Wider den Methodenzwang*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Fischer, Karin (2019): „Nur Hände von weißen Menschen wurden erkannt“. Lorena Jaume-Palasí im Gespräch mit Karin Fischer. In: Deutschlandfunk. deutschlandfunk.de/diversitaet-und-algorithmen-lorena-jaume-palasi-nur-haende-100.html.
- Fischer, Lars (2023): KI schreibt den Code des Lebens um. In: Spektrum.de. spektrum.de/news/ki-schreibt-den-code-des-lebens-um/2148465.
- Fischer, Lars (2024): Auch der Chemie-Nobelpreis geht an KI. In: Spektrum.de. spektrum.de/news/chemie-nobelpreis-2024-fuer-proteinfaltungs-ki/2234757.
- Fleck, Ludwik (2017): Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Floridi, Luciano (2015): *Die 4. Revolution. Wie die Infosphäre unser Leben verändert*. Berlin: Suhrkamp.
- Formanek, Nico (2017): Methoden der Computersimulation und Modellierung. In: Bischof, Christian/Formanek, Nico/Gehring, Petra/Herrmann, Michael/Hubig, Christoph/Kaminski, Andreas/Wolf, Felix (Hrsg.): *Computersimulationen verstehen. Ein Toolkit für interdisziplinär Forschende aus den Geistes- und Sozialwissenschaften*. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, S. 17–33. tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/6079.
- Frabetti, Federica (2011): Rethinking the Digital Humanities in the Context of Originary Technicity. In: *Culture Machine*, 12, S. 1–22.
- Freyer, Hans (1963): *Theorie des gegenwärtigen Zeitalters*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Freyer, Hans (1970): *Gedanken zur Industriegesellschaft*. Mainz: v. Hase & Koehler Verlag.
- Friedman, Batya/Nissenbaum, Helen (1996): Bias in computer systems. In: *ACM Transactions on Information Systems*, 14 (3), S. 330–347.
- Friedrich, Alexander/Gehring, Petra/Hubig, Christoph/Kaminski, Andreas/Nordmann, Alfred (2017): *Technisches Nichtwissen*. Baden-Baden: Nomos.
- Friese, Susanne (2006): Software and Fieldwork. In: Hobbs, Dick/Wright, Richard (Hrsg.): *The SAGE Handbook of Fieldwork*. London: SAGE Publications Ltd, S. 309–332.
- Friese, Susanne (2016): CAQDAS and Grounded Theory Analysis. MMG Working Paper 16-07. Göttingen, S. 1–32. mmg.mpg.de/61762/wp-16-07.
- Frisch, Max (1991): *Tagebuch (1946–1949)*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Fuller, Matthew (2008a): Introduction, the Stuff of Software. In: Fuller, Matthew (Hrsg.): *Software studies. A lexicon*. Cambridge, Mass.: MIT Press, S. 1–13.
- Fuller, Matthew (2008b): *Software studies. A lexicon*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Gabanyi, Margaret J./Berman, Helen M. (2015): Protein structure annotation resources. In: *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.), 1261, S. 3–20. doi.org/10.1007/978-1-4939-2230-7_1.
- Gadamer, Hans-Georg (1975): *Wahrheit und Methode. Grundzüge einer philosophischen Hermeneutik*. Tübingen: J. C. B. Mohr (Paul Siebeck).
- Galison, Peter (2000): *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Galloway, Alexander R. (2012): *The Interface Effect*. Cambridge, U.K/Malden, Mass: Polity.
- Gamm, Gerhard (2000): *Nicht nichts. Studien zu einer Semantik des Unbestimmten*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Gamm, Gerhard (2005): Unbestimmtheitssignaturen der Technik. In: Gamm, Gerhard/Hetzl, Andreas (Hrsg.): *Unbestimmtheitssignaturen der Technik. Eine neue Deutung der technisierten Welt*. Bielefeld: transcript Verlag, S. 17–35.

- Gapski, Harald (2015): Big Data und Medienbildung. Zwischen Kontrollverlust, Selbstverteidigung und Souveränität in der digitalen Welt. Düsseldorf/München: kopaed.
- Gapski, Harald (2021): Künstliche Intelligenz (KI) und kritische Medienbildung. Reflexionen aus kommunikationswissenschaftlicher Perspektive. digid.jff.de/ki-experten/kuenstliche-intelligenz-und-kritische-medienbildung-harald-gapski.
- GBW (2023): Wissenschaftler fordern Moratorium der Digitalisierung in KITAs und Schulen. bildung-wissen.eu/fachbeitraege/wissenschaftler-fordern-moratorium-der-digitalisierung-in-kitas-und-schulen.html.
- Gehlen, Arnold (1993): Anthropologische und sozialpsychologische Untersuchungen. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch-Verlag
- Gehlen, Arnold (2007): Die Seele im technischen Zeitalter. Sozialpsychologische Probleme in der industriellen Gesellschaft. Frankfurt am Main: Klostermann Vittorio.
- Gehlen, Arnold (2016): Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt. Frankfurt: Klostermann Vittorio.
- Gehring, Petra (2007): Lesen und Schreiben. Alte Rückkopplungen in Neuen Medien. In: Sesink, Werner / Kerres, Michael/Moser, Heinz (Hrsg.): Jahrbuch Medienpädagogik 6 (Medienpädagogik – Standortbestimmung einer erziehungswissenschaftlichen Disziplin). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 343–359.
- Gehring, Petra/Hubig, Christoph/Kaminski, Andreas (2017): Was ist ein Hochleistungsrechner? In: Bischof, Christian/Formanek, Nico/Gehring, Petra/Herrmann, Michael/Hubig, Christoph/Kaminski, Andreas/Wolf, Felix (Hrsg.): Computersimulationen verstehen. Ein Toolkit für interdisziplinär Forschende aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, S. 7–16. tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/6079.
- Geiselberger, Heinrich/Moorstedt, Tobias (2013): Big Data. Das neue Versprechen der Allwissenheit. Berlin: Suhrkamp Verlag.
- Gelfert, Axel (2022): Gesellschaftliche Erwartungen an „Big Data“ in der Wissenschaft. Zur Mär vom „Ende der Theorie“. In: Mößner, Nicola/Erlach, Klaus (Hrsg.): Kalibrierung der Wissenschaft. Auswirkungen der Digitalisierung auf die wissenschaftliche Erkenntnis. Bielefeld: transcript Verlag, S. 23–42.
- GESIS (o. J.): Computational Social Science (CSS). gesis.org/institut/abteilungen/computational-social-science.
- GI – Gesellschaft für Informatik (2005a): Was ist Informatik? (Kurzfassung). gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/was-ist-informatik-kurz.pdf.
- GI – Gesellschaft für Informatik (2005b): Was ist Informatik? Unser Positionspapier (Langversion). gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/was-ist-informatik-lang.pdf.
- GI – Gesellschaft für Informatik (2016): Dagstuhl-Erklärung Bildung in der digitalen vernetzten Welt. Eine gemeinsame Erklärung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Seminars auf Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik. Berlin. dagstuhl.gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Aktuelles/Projekte/Dagstuhl/Dagstuhl-Erclaerung_2016-03-23.pdf.
- Gibson, James Jerome (1982): Wahrnehmung und Umwelt. Der ökologische Ansatz in der visuellen Wahrnehmung. München/Wien/Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
- Giddens, Anthony (1995): Konsequenzen der Moderne. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Giddens, Anthony (1997): Die Konstitution der Gesellschaft. Grundzüge einer Theorie der Strukturierung. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Gitelman, Lisa/Jackson, Virginia (2013): Introduction. In: Gitelman, Lisa (Hrsg.): “Raw data” Is An Oxymoron. Cambridge, Mass.: The MIT Press, S. 1–14.
- Glaser, Barney G. (1992): Basics of grounded theory analysis: emergence vs forcing. Mill Valley, Calif.: Sociology Press.
- Glaser, Barney G./Holton, Judith (2004): Remodeling Grounded Theory. In: Forum Qualitative Sozialforschung, 5 (2), S. 1–23. doi.org/10.17169/fqs-5.2.607.

- Glaser, Barney G./Strauss, Anselm L. (1968): The Discovery of Grounded Theory. Strategies for Qualitative Research. London: Weidenfeld & Nicolson.
- Glaser, Barney G./Strauss, Anselm L. (1998): Grounded Theory. Strategien qualitativer Forschung. Bern: Huber.
- Gödel, Kurt (1931): Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. In: Monatshefte für Mathematik und Physik, 38 (1), S. 173–198.
- Goerz, Guenther/Scholz, Martin (2013): Semantic annotation for medieval cartography. The example of the Behaim Globe of 1492. In: e-Perimetron, 8 (1), S. 8–20. e-perimetron.org/Vol_8_1/Goerz_Scholz.pdf.
- Goffey, Andrew (2008): Algorithm. In: Fuller, Matthew (Hrsg.): Software studies. A lexicon. Cambridge, Mass.: MIT Press, S. 15–20.
- Goldstine, Herman H./Neumann, John von (1947): Planning and Coding of Problems for an Electronic Computing Instrument. Report on the Mathematical and Logical aspects of an Electronic Computing Instrument, Part II, Volume I-3. Princeton, N. J.: Institute for Advanced Study.
- Goodman, Nelson (1968): Languages of art. An Approach to a Theory of Symbols. Indianapolis/New York/Kansas City: The Bobbs-Merrill Company.
- Gramelsberger, Gabriele (2000): Die Ambivalenz der Bilder. In: Sachs-Hombach, Klaus/Rehkämper, Klaus (Hrsg.): Vom Realismus der Bilder. Interdisziplinäre Forschungen zur Semantik bildhafter Darstellungsformen. Magdeburg: Scriptum Verlag, S. 55–63.
- Gramelsberger, Gabriele (2010): Computerexperimente. Zum Wandel der Wissenschaft im Zeitalter des Computers. Bielefeld: transcript Verlag.
- Gramelsberger, Gabriele (2012): Generizität von Forschungstechnologien – Mathematische und algorithmische Bedingungen. In: Hentschel, Klaus (Hrsg.): Zur Geschichte von Forschungstechnologien. Generizität, Interstitialität & Transfer. Diepholz/Berlin/Stuttgart: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, S. 161–183.
- Gramelsberger, Gabriele (2014): Einleitung – Synthesis. Neue Logik der Forschung? In: Gramelsberger, Gabriele/Bexte, Peter/Kogge, Werner (Hrsg.): Synthesis. Zur Konjunktur eines philosophischen Begriffs in Wissenschaft und Technik. Bielefeld: transcript Verlag, S. 9–22.
- Gramelsberger, Gabriele (2019): Digitale Wissenschaft. In: Schnell, Martin W./Dunger, Christine (Hrsg.): Digitalisierung der Lebenswelt. Studien zur Krisis nach Husserl. Weilerswist: Velbrück Wissenschaft, S. 115–132.
- Gramelsberger, Gabriele/Bexte, Peter/Kogge, Werner (2014): Synthesis. Zur Konjunktur eines philosophischen Begriffs in Wissenschaft und Technik. Bielefeld: transcript Verlag.
- Gramelsberger, Gabriele/Müller, Matthias (2018): Datengetriebene Forschung. Ein Beitrag aus wissenschaftsreflexiver Perspektive. In: Forschung & Lehre, 9 (25), S. 758–760.
- Gransche, Bruno (2022): Algorithmen verstehen es einfach nicht. Zur Rolle datengestützter Methoden in den verstehenden Wissenschaften. In: Mößner, Nicola/Erlach, Klaus (Hrsg.): Kalibrierung der Wissenschaft. Auswirkungen der Digitalisierung auf die wissenschaftliche Erkenntnis. Bielefeld: transcript Verlag, S. 47–75.
- Gransche, Bruno/Shala, Erdvana/Hubig, Christoph/Alpsancar, Suzana/Harrach, Sebastian (2014): Wandel von Autonomie und Kontrolle durch neue Mensch-Technik-Interaktionen. Grundsatzfragen autonomieorientierter Mensch-Technik-Verhältnisse. Stuttgart: Fraunhofer Verlag. publica.fraunhofer.de/entities/publication/6b029ba7-b17d-4f0f-a3f5-dfb0f066b7f4.
- Grunwald, Armin (2021): Technik. In: Grunwald, Armin/Hillerbrand, Rafaela (Hrsg.): Handbuch Technikethik. Stuttgart: J.B. Metzler, S. 19–23.
- Gruschka, Andreas (2019): Erziehen heißt Verstehen lehren. Ein Plädoyer für guten Unterricht. Ditzingen: Reclam.
- Günther, Gotthard (1963): Das Bewußtsein der Maschinen. Eine Metaphysik der Kybernetik. Krefeld/Baden-Baden: Agis-Verlag.
- Habermas, Jürgen (1981): Theorie des kommunikativen Handelns. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

- Habermas, Jürgen (2013): Erkenntnis und Interesse. In: Schurz, Gerhard/Carrier, Martin (Hrsg.): Werte in den Wissenschaften. Neue Ansätze zum Werturteilsstreit. Berlin: Suhrkamp, S. 57–73.
- Hainschink, Verena/Abu Zahra-Ecker, Rim (2018): Leben in Antinomien. Bewältigungsdispositionen aus arbeitsbezogenen Verhaltens- und Erlebensmustern. In: Pädagogische Horizonte, 2 (2), S. 21–36. paedagogische-horizonte.at/index.php/ph/article/view/50.
- Haraway, Donna (1995): Ein Manifest für Cyborgs. Feminismus im Streit mit den Technowissenschaften. In: Hammer, Carmen/Stieß, Immanuel (Hrsg.): Die Neuerfindung der Natur. Primaten, Cyborgs und Frauen. Frankfurt am Main/New York: Campus Verlag, S. 33–72.
- Hardwig, John (1985): Epistemic Dependence. In: The Journal of Philosophy, 82 (7), S. 335.
- Harel, Idit/Papert, Seymour (1991): Constructionism. Research Reports and Essays (1985–1990). Norwood, N.J.: Ablex.
- Harrach, Sebastian (2014): Neugierige Strukturvorschläge im maschinellen Lernen. Eine technikphilosophische Verortung. Bielefeld: transcript Verlag.
- Harries-Jones, Peter (1995): A Recursive Vision. Ecological Understanding and Gregory Bateson. Toronto/Buffalo/London: University of Toronto Press.
- Harvard University (o. J.): Social Science One. Hosted by Harvard's Institute for Quantitative Social Science. socialscience.one/partnerships.
- Hayles, Kathrine N. (2012a): How we think. Digital media and contemporary technogenesis. Chicago/London: University of Chicago Press.
- Hayles, Kathrine N. (2012b): How We Think. Transforming Power and Digital Technologies. In: Berry, David M. (Hrsg.): Understanding Digital Humanities. Basingstoke/New York: Palgrave Macmillan, S. 42–66.
- Heidegger, Martin (1967): Sein und Zeit. Tübingen: Niemeyer.
- Heidegger, Martin (2000): Was heißt Denken? (1952). In: Heidegger, Martin (Hrsg.): Gesamtausgabe, Vorträge und Aufsätze (Band 7). Frankfurt am Main: Klostermann, S. 127–143.
- Heidegger, Martin (2018): Das Wesen der Sprache. In: Herrmann, Friedrich-Wilhelm von (Hrsg.): Unterwegs zur Sprache. Frankfurt am Main: Vittorio Klostermann, S. 147–204.
- Helsper, Werner (1996): Antinomien des Lehrerhandelns in modernisierten pädagogischen Kulturen. Paradoxe Verwendungsweisen von Autonomie und Selbstverantwortlichkeit. In: Combe, Arno/Helsper, Werner (Hrsg.): Pädagogische Professionalität. Untersuchungen zum Typus pädagogischen Handelns. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 521–569.
- Henge, Regine (2019): Kombinieren. Durch den Datendschungel auf der Suche nach Erkenntnis. Experimentieren in der molekularen Mikrobiologie. In: Marguin, Séverine/Rabe, Henrike/Schäffner, Wolfgang/Schmidgall, Friedrich (Hrsg.): Experimentieren. Einblicke in Praktiken und Versuchsaufbauten zwischen Wissenschaft und Gestaltung. Bielefeld: transcript Verlag, S. 123–135.
- Hentschel, Klaus (2012): Muster und Stufen der Generizität von Forschungstechnologien. In: Hentschel, Klaus (Hrsg.): Zur Geschichte von Forschungstechnologien. Generizität, Interstitialität & Transfer. Diepholz/Berlin/Stuttgart: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, S. 113–139.
- Hentschel, Klaus (2015): Visual Cultures in Science and Technology. A Comparative History. Oxford: Oxford University Press.
- Hepp, Andreas (2020): Deep mediation. London/New York: Routledge.
- Hepp, Andreas (2021): Auf dem Weg zur digitalen Gesellschaft. Über die tiefgreifende Mediatisierung der sozialen Welt. Köln: Herbert von Halem Verlag.
- Hepp, Andreas/Jarke, Juliane/Kramp, Leif (2022): New Perspectives in Critical Data Studies. Cham: Springer International Publishing.
- Herkommer, Christine (2012): Die computergestützte qualitative Inhaltsanalyse. Eine Möglichkeit zur Erweiterung des Methodenkanons der (zeit-)historischen Forschung. In: Zeitschrift für digitale Geschichtswissenschaften, 1, S. 1–17. universaar.uni-saarland.de/journals/index.php/zdg/article/view/295#.
- Herold, Helmut/Lurz, Bruno/Wohlrab, Jürgen (2012): Grundlagen der Informatik. Praktisch – Technisch – Theoretisch. München: Pearson Studium.

- Herrmann, Katharina (2016): Zur Komplizenschaft der Kritik. Eine bildungstheoretische Analyse des widersprüchlichen Involviertseins von Kritik. In: Momentum Quarterly, 5 (2), S. 112–120. momentum-quarterly.org/momentum/article/view/1781.
- Herrmann, Michael (2017): Die Simulationspipeline bei gleichungsbasierten Simulationen. In: Bischof, Christian/Formanek, Nico/Gehring, Petra/Herrmann, Michael/Hubig, Christoph/Kaminski, Andreas/Wolf, Felix (Hrsg.): Computersimulationen verstehen. Ein Toolkit für interdisziplinär Forschende aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, S. 35–102. tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/6079.
- Herzig, Bardo (2001): „Die mit den Zeichen tanzen“: Ein Beitrag zum Verhältnis von Informationstechnischer Bildung und Medienerziehung. In: MedienPädagogik, 4, S. 1–28. doi.org/10.21240/mpaed/04/2001.11.14.X.
- Heßler, Martina (2016): Gilbert Simondon und die Existenzweise technischer Objekte. Eine technikhistorische Lesart. In: TG Technikgeschichte, 83 (1), S. 3–32. nomos-elibrary.de/10.5771/0040-117X-2016-1/tg-technikgeschichte-jahrgang-83-2016-heft-1.
- Heßler, Martina (2019): Die Maschine als Konkurrentin im Mensch-Maschine-Vergleich. In: Liggieri, Kevin/Müller, Oliver (Hrsg.): Mensch-Maschine-Interaktion. Handbuch zu Geschichte – Kultur – Ethik. Berlin/Heidelberg: J.B. Metzler, S. 150–156.
- Heuermann, Marc C./Knoch, Dominic/Junker, Astrid/Altmann, Thomas (2023): Natural plant growth and development achieved in the IPK PhenoSphere by dynamic environment simulation. In: Nature communications, 14 (5783), S. 1–14. doi.org/10.1038/s41467-023-41332-4.
- Heydorn, Heinz-Joachim (2004a): Bildungstheoretische und pädagogische Schriften, 1967–1970 (Werke Band 2). Wetzlar: Büchse der Pandora.
- Heydorn, Heinz-Joachim (2004b): Bildungstheoretische und pädagogische Schriften, 1971–1974 (Werke Band 4). Wetzlar: Büchse der Pandora.
- Heydorn, Heinz-Joachim (2004c): Über den Widerspruch von Bildung und Herrschaft (Werke Band 3). Wetzlar: Büchse der Pandora.
- Hillerbrand, Rafaela/Poznic, Michael (2021): Tugendethik. In: Grunwald, Armin/Hillerbrand, Rafaela (Hrsg.): Handbuch Technikethik. Stuttgart: J.B. Metzler, S. 165–170.
- Hofstadter, Douglas R. (2008): Ich bin eine seltsame Schleife. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Hörl, Erich (2008): Die offene Maschine. In: MLN, 123 (3), S. 632–655.
- Hörl, Erich (2011): Die technologische Bedingung. Zur Einführung. In: Hörl, Erich (Hrsg.): Die technologische Bedingung. Beiträge zur Beschreibung der technischen Welt. Berlin: Suhrkamp, S. 7–53.
- Hoyningen-Huene, Paul (2011): Was ist Wissenschaft? In: Gethmann, Carl Friedrich (Hrsg.): Lebenswelt und Wissenschaft. XXI. Deutscher Kongreß für Philosophie, 15.–19. September 2008 an der Universität Duisburg-Essen (Kolloquienbeiträge). Hamburg: Felix Meiner Verlag, S. 557–565.
- Hoyningen-Huene, Paul (2016): Systematicity. The Nature of Science. Oxford/New York/Auckland: Oxford University Press.
- Hubig, Christoph (1991): Abduktion. Das implizite Voraussetzen von Regeln. In: Jüttemann, Gerd (Hrsg.): Individuelle und soziale Regeln des Handelns. Beiträge zur Weiterentwicklung geisteswissenschaftlicher Ansätze in der Psychologie. Heidelberg: Asanger, S. 157–167.
- Hubig, Christoph (2006): Die Kunst des Möglichen I. Grundlinien einer dialektischen Philosophie der Technik (Band 1: Technikphilosophie als Reflexion der medialität). Bielefeld: transcript Verlag.
- Hubig, Christoph (2015): Die Kunst des Möglichen III. Grundlinien einer dialektischen Philosophie der Technik (Band 3: Macht der Technik). Bielefeld: transcript Verlag.
- Hubig, Christoph (2021): Technik als Medium. In: Grunwald, Armin/Hillerbrand, Rafaela (Hrsg.): Handbuch Technikethik. Stuttgart: J.B. Metzler, S. 123–127.
- Hubig, Christoph/Luckner, Andreas (2021): Klugheitsethik/Provisorische Moral. In: Grunwald, Armin/Hillerbrand, Rafaela (Hrsg.): Handbuch Technikethik. Stuttgart: J.B. Metzler, S. 155–159.
- Hug, Theo (2001): Wie kommt Wissenschaft zu Wissen? Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten (Band 1). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

- Hug, Theo (2007): Medienpädagogik unter den Auspizien des mediativ turn – eine explorative Skizze in programmatischer Absicht. In: Sesink, Werner/Kerres, Michael/Moser, Heinz (Hrsg.): Jahrbuch Medienpädagogik 6 (Medienpädagogik – Standortbestimmung einer erziehungswissenschaftlichen Disziplin). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 10–32.
- Hui, Yuk (2012): What is a Digital Object? In: Metaphilosophy, 43 (4), S. 380–395. onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9973.2012.01761.x.
- Hui, Yuk (2016): On the Existence of Digital Objects. Minneapolis/London: University of Minnesota Press.
- Hui, Yuk (2019): Recursivity and Contingency. London/New York: Rowman & Littlefield International.
- Hui, Yuk (2023): ChatGPT, or the Eschatology of Machines. In: e-flux Journal (Issue #137), S. 1–8. e-flux.com/journal/137/544816/chatgpt-or-the-eschatology-of-machines.
- Huizinga, Johan (2022): Homo Ludens. Vom Ursprung der Kultur im Spiel. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Humboldt, Wilhelm von (2012): Grenzen des Staats. In: Hastedt, Heiner (Hrsg.): Was ist Bildung? Eine Textanthologie. Stuttgart: Reclam, S. 110–114.
- Humphreys, Paul (2004): Extending Ourselves. Computational Science, Empiricism, and Scientific Method. Oxford: Oxford University Press.
- Humphreys, Paul (2009): The philosophical novelty of computer simulation methods. In: Synthese, 169 (3), S. 615–626.
- Husserl, Edmund (2012): Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendentale Phänomenologie. Eine Einleitung in die phänomenologische Philosophie. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Hutchby, Ian (2001): Technologies, Texts and Affordances. In: Sociology, 35 (2), S. 441–456.
- ICOM (o. J.): CIDOC CRM. What is the CIDOC CRM? cidoc-crm.org.
- Imanpour, Aylar/Kolahi Azar, Hanieh/Makarem, Dorna/Nematollahi, Zeinab/Nahavandi, Reza/Rostami, Mohammadreza/Behestizadeh, Nima (2023): In silico engineering and simulation of RNA interferences nanoplatforms for osteoporosis treating and bone healing promoting. In: Scientific reports, 13 (18185), S. 1–22.
- Irvin, Martin (2015): Remix and the Dialogic Engine of Culture. In: Navas, Eduardo/Gallagher, Owen/Burrough, xtine (Hrsg.): The Routledge Companion to Remix Studies. New York: Taylor & Francis, S. 15–42.
- Iske, Stefan/Fromme, Johannes/Verständig, Dan/Wilde, Katrin (2020): Big Data, Datafizierung und digitale Artefakte. Wiesbaden: Springer VS.
- Jannidis, Fotis (2017): Analog, digital und das Bit. In: Jannidis, Fotis/Kohle, Hubertus/Rehbein, Malte (Hrsg.): Digital Humanities. Eine Einführung. Stuttgart: J.B. Metzler, S. 59–67.
- Jannidis, Fotis/Kohle, Hubertus/Rehbein, Malte (2017): Digital Humanities. Eine Einführung. Stuttgart: J.B. Metzler.
- Jansen, Martin/Schön, Christian J. (2014): ‘Design’ in der chemischen Synthese – eine Fiktion? In: Grämsberger, Gabriele/Bexte, Peter/Kogge, Werner (Hrsg.): Synthesis. Zur Konjunktur eines philosophischen Begriffs in Wissenschaft und Technik. Bielefeld: transcript Verlag, S. 107–120.
- Joas, Hans (2016): Pragmatismus und Gesellschaftstheorie. Frankfurt am Main: Suhrkamp Taschenbuch Verlag.
- Joerges, Bernward/Shinn, Terry (2001a): A Fresh Look At Instrumentation. An Introduction. In: Joerges, Bernward/Shinn, Terry (Hrsg.): Instrumentation Between Science, State and Industry. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, S. 1–13.
- Joerges, Bernward/Shinn, Terry (2001b): Research-Technology in Historical Perspective: An Attempt at Reconstruction. In: Joerges, Bernward/Shinn, Terry (Hrsg.): Instrumentation Between Science, State and Industry. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, S. 241–248.
- Johnston, Sean F. (2001): In Search of Space: Fourier Spectroscopy, 1950–1970. In: Joerges, Bernward/Shinn, Terry (Hrsg.): Instrumentation Between Science, State and Industry. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, S. 121–141.

- Jörissen, Benjamin (2014): Digitale Medialität. In: Wulf, Christoph/Zirfas, Jörg (Hrsg.): Handbuch Pädagogische Anthropologie. Wiesbaden: Springer VS, S. 503–513.
- Jörissen, Benjamin (2016): „Digitale Bildung“ und die Genealogie digitaler Kultur: historiographische Skizzen. In: MedienPädagogik, 25, S. 26–40. doi.org/10.21240/mpaed/25/2016.10.26.X.
- Jörissen, Benjamin (2017): Digital/kulturelle Bildung Plädoyer für eine Pädagogik der ästhetischen Reflexion digitaler Kultur. Plädoyer für eine Pädagogik der ästhetischen Reflexion digitaler Kultur. In: Meyer, Torsten/Dick, Julia/Moermann, Peter/Ziegenbein, Julia (Hrsg.): where the magic happens. Bildung nach der Entgrenzung der Künste. ZKMB 2017. zkmb.de/digitalkulturelle-bildung-plaedyer-fuer-eine-paedagogik-der-aesthetischen-reflexion-digitaler-kultur.
- Jörissen, Benjamin (2019): Digital/Kulturelle Bildung: Plädoyer für eine Pädagogik der ästhetischen Reflexion digitaler Kultur. In: KULTURELLE BILDUNG ONLINE, S. 1–10. kubi-online.de/artikel/digital-kulturelle-bildung-plaedyer-paedagogik-aesthetischen-reflexion-digitaler-kultur.
- Jörissen, Benjamin/Marotzki, Winfried (2009): Medienbildung – Eine Einführung. Theorie – Methoden – Analysen. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Jörissen, Benjamin/Unterberg, Lisa (2017/2019): Digitale Kulturelle Bildung: Bildungstheoretische Gedanken zum Potenzial Kultureller Bildung in Zeiten der Digitalisierung. In: KULTURELLE BILDUNG ONLINE. doi.org/10.25529/92552.505.
- Jörissen, Benjamin/Unterberg, Lisa (2019): DiKuBi-Meta [TP1]: Digitalität und Kulturelle Bildung. In: Jörissen, Benjamin/Kröner, Stephan/Unterberg, Lisa (Hrsg.): Forschung zur Digitalisierung in der Kulturellen Bildung. München: kopaed, S. 11–24.
- Jörissen, Benjamin/Verständig, Dan (2017): Code, Software und Subjekt. Zur Relevanz der Critical Software Studies für ein nicht-reduktionistisches Verständnis „digitaler Bildung“. In: Biermann, Ralf/Verständig, Dan (Hrsg.): Das umkämpfte Netz. Macht- und medienbildungstheoretische Analysen zum Digitalen. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 37–50.
- Jünger, Jakob (2022): Verhaltens-, Forschungs- oder Datenschnittstellen? Application Programming Interfaces (APIs) aus diachron und synchron vergleichender Perspektive. In: Schwarzenegger, Christian/Koenen, Erik/Pentzold, Christian/Birkner, Thomas/Katzenbach, Christian (Hrsg.): Digitale Kommunikation und Kommunikationsgeschichte. Perspektiven, Potentiale, Problemfelder. Berlin: Freie Universität Berlin, S. 157–185.
- Kaerlein, Timo (2018): Smartphones als digitale Nahkörpertechnologien. Zur Kybernetisierung des Alltags. Bielefeld: transcript Verlag.
- Kaerlein, Timo (2020): Interface. Zur Vermittlung von Praktiken und Infrastrukturen (als Perspektive für die Medienwissenschaft). In: Huber, Martin/Krämer, Sybille/Pias, Claus (Hrsg.): Wovon sprechen wir, wenn wir von Digitalisierung sprechen? Gehalte und Revisionen zentraler Begriffe des Digitalen. Frankfurt am Main: CompaRe (Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg), S. 45–58. publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/54857.
- Kaiser, Hermann-Josef (1972): Erkenntnistheoretische Grundlagen pädagogischer Methodenbegriffe. In: Menck, Peter/Thoma, Gösta (Hrsg.): Unterrichtsmethode. Intuition, Reflexion, Organisation. München: Kösel, S. 129–144.
- Kaminski, Andreas (2018): Der Erfolg der Modellierung und das Ende der Modelle. Epistemische Opazität in der Computersimulation. In: Brenneis, Andreas/Honer, Oliver/Keesser, Sina/Ripper, Annette/Vetter-Schultheiß, Silke (Hrsg.): Technik – Macht – Raum. Das Topologische Manifest im Kontext interdisziplinärer Studien. Wiesbaden: Vieweg, S. 317–333.
- Kaminski, Andreas (2020): Gründe geben. Maschinelles Lernen als Problem der Moralfähigkeit von Entscheidungen. In: Wiegerling, Klaus/Nerurkar, Michael/Wadephul, Christian (Hrsg.): Datafizierung und Big Data. Ethische, Anthropologische und Wissenschaftstheoretische Perspektiven. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 151–174.

- Kaminski, Andreas/Resch, Michael/Küster, Uwe (2018): Mathematische Opazität. Über Rechtfertigung und Reproduzierbarkeit in der Computersimulation. In: Friedrich, Alexander/Gehring, Petra/Hubig, Christoph/Kaminski, Andreas/Nordmann, Alfred (Hrsg.): Arbeit und Spiel. Jahrbuch Technikphilosophie 2018. Baden-Baden: Nomos, S. 253–278.
- Kaminski, Andreas/Schembera, Björn/Resch, Michael/Küster, Uwe (2016): Simulation als List. In: Gamm, Gerhard/Gehring, Petra/Hubig, Christoph/Kaminski, Andreas/Nordmann, Alfred (Hrsg.): List und Tod. Jahrbuch Technikphilosophie 2016. Zürich/Berlin: Diaphanes, S. 93–121.
- Kamitz, Reinhard (1980): Methode, Methodologie. In: Speck, Josef (Hrsg.): Handbuch wissenschaftstheoretischer Begriffe (Band 2: G-Q). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, S. 429–433.
- Kant, Immanuel (2015): Kritik der Urteilskraft (Textgrundlage Band V (1908/13) der Edition Kants gesammelte Schriften, herausgegeben von der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Berlin 1902). Köln: Anaconda.
- Kant, Immanuel (2017): Kritik der reinen Vernunft. Stuttgart: Reclam.
- Keet, C. Maria (2021): Bias in ontologies – a preliminary assessment. arxiv.org/pdf/2101.08035.pdf.
- Keil, Reinhard (2006): Zur Rolle interaktiver Medien in der Bildung. In: Keil, Reinhard/Schubert, Detlef (Hrsg.): Lernstätten im Wandel. Innovation und Alltag in der Bildung. Münster: Waxmann, S. 59–77.
- Keiner, Edwin (2017): Didaktik – Bildung – Technik – Kritik. Medienpädagogik und Antinomien der Moderne. In: MedienPädagogik, 27, S. 270–286. doi.org/10.21240/mpaed/27/2017.04.29.X.
- Kelle, Udo (1998): Computer-aided qualitative data analysis. Theory, methods and practice. London: Sage.
- Kelleher, John D./Tierney, Brendan (2018): Data Science. Cambridge, Mass/London: The MIT Press.
- Kergel, David (2018): Kulturen des Digitalen. Postmoderne Medienbildung, subversive Diversität und neoliberalen Subjektivierung. Wiesbaden: Springer VS.
- Kergel, David/Heidkamp, Birte (2016): Forschendes Lernen 2.0. Partizipatives Lernen zwischen Globalisierung und medialem Wandel. Wiesbaden: Springer VS.
- Kerres, Michael (2020): Bildung in der digitalen Welt. Über Wirkungsannahmen und die soziale Konstruktion des Digitalen. In: MedienPädagogik, 17 (Jahrbuch Medienpädagogik: Lernen mit und über Medien in einer digitalen Welt), S. 1–32. doi.org/10.21240/mpaed/jb17/2020.04.24.X.
- Kerres, Michael (2023): Bildung in der digitalen Welt. (Wie) Kann digitale Kompetenz vermittelt werden? In: McElvany, Nele/Lorenz, Ramona/Becker, Michael/Gaspard, Hanna/Lauermann, Fani (Hrsg.): Lernen in und für die Schule im Zeitalter der Digitalität. Chancen und Herausforderungen für Lehrkräfte, Unterricht und Lernende. Münster: Waxmann, S. 9–28.
- Kerres, Michael/de Witt, Claudia (2004): Pragmatismus als theoretische Grundlage für die Konzeption von eLearning. In: Mayer, Horst O./Treichel, Dietmar (Hrsg.): Handlungsorientiertes Lernen und eLearning. Grundlagen und Praxisbeispiele. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag, S. 77–100.
- Kincheloe, Joe L. (2005): On to the Next Level: Continuing the Conceptualization of the Bricolage. In: Qualitative Inquiry, 11 (3), S. 323–350. doi.org/10.1177/1077800405275056.
- Kincheloe, Joe L./McLaren, Peter/Steinberg, Shirley R./Monzó, Lilia D. (2018): Critical Pedagogy and Qualitative Research: Advancing the Bricolage. In: Denzin, Norman K./Lincoln, Yvonna S. (Hrsg.): The Sage Handbook of Qualitative Research. Los Angeles/London/New Delhi/Singapore/Washington DC/Melbourne: Sage, S. 418–465.
- KIT (o. J.): Grid-Computing-Zentrum Karlsruhe – GridKa. scc.kit.edu/forschung/gridka.php.
- Kitchin, Rob (2014a): Big Data, new epistemologies and paradigm shifts. In: Big Data & Society, 1 (1), S. 1–12. doi.org/10.1177/2053951714528481.
- Kitchin, Rob (2014b): The data revolution. Big data, open data, data infrastructures & their consequences. Los Angeles/London/New Dehli: Sage.
- Kitchin, Rob (2017): Thinking critically about and researching algorithms. In: Information, Communication & Society, 20 (1), S. 14–29. doi.org/10.1080/1369118X.2016.1154087.
- Kitchin, Rob/Dodge, Martin (2011): Code/space. Software and everyday life. Cambridge, Mass.: The MIT Press.

- Kittler, Friedrich A. (1986): Grammophon, Film, Typewriter. Berlin: Brinkmann & Bose.
- Kittler, Friedrich A. (1993): Draculas Vermächtnis. Technische Schriften. Leipzig: Reclam.
- Kittler, Friedrich A. (2014): Es git keine Software. In: Kittler, Friedrich A./Gumbrecht, Hans Ulrich (Hrsg.): Die Wahrheit der technischen Welt. Essays zur Genealogie der Gegenwart. Berlin: Suhrkamp, S. 285–299.
- KMK – Kultusministerkonferenz (2017): Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 08.12.2016 in der Fassung vom 07.12.2017). kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf.
- Knaus, Thomas (2013): Technik stört! Lernen mit digitalen Medien in interaktionistisch-konstruktivistischer Perspektive. In: Knaus, Thomas/Engel, Olga (Hrsg.): fraMediale – digitale Medien in Bildungseinrichtungen (Band 3). München: kopaed, S. 21–60.
- Knaus, Thomas (2016): digital – medial – egal? Ein fiktives Streitgespräch um digitale Bildung und omnipräsente Adjektive in der aktuellen Bildungsdebatte. In: Brüggemann, Marion/Knaus, Thomas/Meister, Dorothee M. (Hrsg.): Kommunikationskulturen in digitalen Welten. Konzepte und Strategien der Medienpädagogik und Medienbildung. München: kopaed, S. 99–130.
- Knaus, Thomas (2017a): Eine Forschungswerkstatt für die Mediengeschichtliche Ausgangslagen, Begründungen und Ziele eines Publikationsprojekts. In: Knaus, Thomas (Hrsg.): Projekt – Theorie – Methode. München: kopaed, S. 7–57.
- Knaus, Thomas (2017b): Verstehen – Vernetzen – Verantworten. Warum Medienbildung und informatische Bildung uns alle angehen und wir sie gemeinsam weiterentwickeln sollten. In: Diethelm, Ira (Hrsg.): Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt. 17. GI-Fachtagung Informatik und Schule. 13.–15. September 2017 Oldenburg. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 31–48. dl.gi.de/items/0008a7dc-626b-475c-870b-350cd05f078c.
- Knaus, Thomas (2019): Pa@kt Schule digital? Von Worthülsen und kreativer Schulpolitik. In: bildung und wissenschaft – Zeitschrift der Gewerkschaft Erziehung und Wissenschaft Baden-Württemberg, 73 (9), S. 14–19.
- Knaus, Thomas (2020): Von medialen und technischen Handlungspotentialen, Interfaces und anderen Schnittstellen. Eine Lesson in Unlearning. In: Knaus, Thomas/Meier, Olga (Hrsg.): Schnittstellen und Interfaces. Digitaler Wandel in Bildungseinrichtungen (Band 7 der fraMediale-Reihe). München: kopaed, S. 15–72.
- Knaus, Thomas (2022): Making in media education: An activity-oriented approach to digital literacy. In: Journal of Media Literacy Education (JMLE), 14 (3), S. 53–65. doi.org/10.23860/JMLE-2022-14-3-5.
- Knaus, Thomas et. al. (2023): Künstliche Intelligenz und Bildung: Was sollen wir wissen? Was können wir tun? Was dürfen wir hoffen? Und was ist diese KI? In: Ludwigsburger Beiträge zur Mediengeschichte – LBzM, 23, S. 1–42. doi.org/10.21240/lbzm/23/19.
- Knaus, Thomas (2024a): Warum KI kein Hype ist und die Mediengeschichtliche sich damit befassen sollte. In: merz – medien+erziehung, 68 (03), S. 21–30.
- Knaus, Thomas (2024b): Künstliche Intelligenz und Pädagogik – ein Plädoyer für eine Perspektiverweiterung. In: Ludwigsburger Beiträge zur Mediengeschichtliche – LBzM, 24, S. 1–34. medienpaed-ludwigsburg.de/article/view/539.
- Knaus, Thomas/Engel, Olga (2015): „...auch auf das Werkzeug kommt es an“ – Eine technikhistorische und techniktheoretische Annäherung an den Werkzeugbegriff in der Mediengeschichtlichen. In: Knaus, Thomas/Engel, Olga (Hrsg.): fraMediale – digitale Medien in Bildungseinrichtungen (Band 4). München: kopaed, S. 15–57.
- Knaus, Thomas/Meister, Dorothee M./Tulodziecki, Gerhard (2017): Futurelab Mediengeschichtliche: Qualitätsentwicklung – Professionalisierung – Standards. Thesenpapier zum Forum Kommunikationskultur 2017 der GMK. In: MedienPädagogik, Statements and Frameworks (Oktober), S. 1–23. doi.org/10.21240/mpaed/00/2017.10.24.X.

- Knaus, Thomas/Merz, Olga/Junge, Thorsten (2023): 50 Jahre Medienkompetenz und kein bisschen weiter? Von der Kommunikativen Kompetenz zu DigComp (Editorial). In: Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik – LBzM, 23, S. 1–20. doi.org/10.21240/lbzm/23/01.
- Knaus, Thomas/Merz, Olga/Junge, Thorsten (2024): Ist das Kunst... oder kann das die KI? Zum Verhältnis von menschlicher und künstlicher Kreativität (Editorial zum Heft 24). In: Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik – LBzM, 24, S. 1–24. medienpaed-ludwigsburg.de/article/view/538.
- Knaus, Thomas/Schmidt, Jennifer (2020): Medienpädagogisches Making – ein Begründungsversuch. In: Mediennpulse, 58 (4), S. 1–50. doi.org/10.21243/mi-04-20-04.
- Knaus, Thomas/Schmidt, Jennifer (2023): „Ich mach' mir die Welt, widdewidde wie sie mir gefällt“. In: MedienPädagogik, 56 (Making & more: gemeinsam Lernen gestalten), S. 1–36. doi.org/10.21240/mpaed/56/2023.12.01.X.
- Knaus, Thomas/Schmidt, Jennifer/Merz, Olga (2023): Reflexion durch Aktion. Ansätze zur handlungsorientierten Förderung einer um digitaltechnische Dimensionen erweiterten Medienbildung. In: Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik – LBzM, 23, S. 1–10. doi.org/10.21240/lbzm/23/12.
- Knaus, Thomas/Tulodziecki, Gerhard (2023): Thomas Knaus im Gespräch mit Gerhard Tulodziecki. In: Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik – LBzM, 23, S. 1–23. doi.org/10.21240/lbzm/23/22.
- Knoop, Ulrich (1976): Das mittelhochdeutsche Tagelied. Inhaltsanalyse und literarhistorische Untersuchung. Marburg: Elwert.
- Knorr Cetina, Karin (1984): Die Fabrikation von Erkenntnis. Zur Anthropologie der Naturwissenschaft. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Knorr Cetina, Karin (1998): Sozialität mit Objekten. Soziale Beziehungen in post-traditionalen Wissensgesellschaften. In: Rammert, Werner (Hrsg.): Technik und Sozialtheorie. Frankfurt am Main: Campus Verlag, S. 83–120.
- Knorr Cetina, Karin (2002): Wissenskulturen. Ein Vergleich naturwissenschaftlicher Wissensformen. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Koehler, Matthew J./Mishra, Punya/Cain, William (2013): What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? In: Journal of Education, 193 (3), S. 13–19. doi.org/10.1177/002205741319300303.
- Kogon, Eugen (1976): Die Stunde der Ingenieure. Technologische Intelligenz und Politik. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Kokemohr, Rainer (1985): Modalisierung und Validierung in schulischen Lehr-Lern-Prozessen. In: Kokemohr, Rainer/Marotzki, Winfried (Hrsg.): Interaktionsanalysen in pädagogischer Absicht. Frankfurt am Main: Lang, S. 177–235.
- Kolany-Raiser, Barbara (2018): Big Data und Gesellschaft. Eine Multidisziplinäre Annäherung. Wiesbaden: Vieweg.
- Koller, Hans-Christoph (2007): Bildung als Entstehung neuen Wissens? Zur Genese des Neuen in transformatorischen Bildungsprozessen. In: Müller, Hans-Rüdiger/Stravoravdis, Wassilios (Hrsg.): Bildung im Horizont der Wissensgesellschaft. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 49–66.
- Koller, Hans-Christoph (2018): Bildung anders denken. Einführung in die Theorie transformatorischer Bildungsprozesse. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- Kommer, Sven/Missomelius, Petra/Büscher, Andreas/Knaus, Thomas (2016): Stellungnahme zum KMK Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“. keine-bildung-ohne-medien.de/stellungnahme-kmkstrategiepapier.
- König, Tim (2022): Technik als Weltbezug, Affordanzen als Reflexionsbegriff. In: Zeitschrift für Politikwissenschaft, 32 (2), S. 337–359. doi.org/10.1007/s41358-022-00312-8.
- Konopásek, Zdeněk (2011): Das Denken mit ATLAS.ti sichtbar machen: Computergestützte qualitative Analyse als textuelle Praxis. In: Mey, Günter/Mruck, Katja (Hrsg.): Grounded Theory Reader. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 381–403.

- Kornwachs, Klaus (2020): Daten – Interessen – Ontologien – oder wie Geschäftsmodelle die Wissenschaft verbiegen. In: Wiegerling, Klaus/Nerurkar, Michael/Wadephul, Christian (Hrsg.): Datafizierung und Big Data. Ethische, Anthropologische und Wissenschaftstheoretische Perspektiven. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 3–34.
- Koschtial, Claudia (2021): Understanding e-Science – What Is It About? In: Koschtial, Claudia/Köhler, Thomas/Felden, Carsten (Hrsg.): e-Science. Open, Social and Virtual Technology for Research Collaboration. Cham: Springer International Publishing, S. 1–9.
- Krämer, Sybille (1988): Symbolische Maschinen. Die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriss. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Krämer, Sybille (1993): Operative Schriften als Geistestехnik. Zur Vorgeschichte der Informatik. In: Scheife, Peter/Hastedt, Heiner/Dittrich, Yvonne/Keil, Geert (Hrsg.): Informatik und Philosophie. Mannheim: BI-Wissenschaftsverlag, S. 69–83.
- Krämer, Sybille (2001): Sprache, Sprechakt, Kommunikation. Sprachtheoretische Positionen des 20. Jahrhunderts. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Krämer, Sybille (2004a): Performativität und Medialität. München: Fink.
- Krämer, Sybille (2004b): Was haben ‚Performativität‘ und ‚Medialität‘ miteinander zu tun? Plädoyer für eine in der ‚Aisthetisierung‘ gründende Konzeption des Performativen. In: Krämer, Sybille (Hrsg.): Performativität und Medialität. München: Fink, S. 13–32.
- Krämer, Sybille (2008): Medium, Bote, Übertragung. Kleine Metaphysik der Medialität. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Krämer, Sybille (2018): Das Medium als Spur und als Apparat. In: Krämer, Sybille (Hrsg.): Medien, Computer, Realität. Wirklichkeitsvorstellungen und Neue Medien. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 73–94.
- Krämer, Sybille/Bredekamp, Horst (2003): Kultur, Technik, Kulturtechnik. Wider die Diskursivierung der Kultur. In: Krämer, Sybille/Bredekamp, Horst (Hrsg.): Bild, Schrift, Zahl. München: Fink, S. 11–22.
- Krämer, Sybille/Huber, Martin (2018): Dimensionen Digitaler Geisteswissenschaften. Zur Einführung in den Band. In: Krämer, Sybille/Huber, Martin (Hrsg.): Wie Digitalität die Geisteswissenschaften verändert (Zeitschrift für digitale Geisteswissenschaften Sonderband 3). Neue Forschungsgegenstände und Methoden. Ausgewählte Beiträge der Tagung 2017 an der Universität Bayreuth im Rahmen der Symposienreihe Digitalität in den Geisteswissenschaften. Wolfenbüttel: Forschungsverbund Marbach Weimar Wolfenbüttel, o. S.
- Kraus, Anja (2021): Einführung. In: Kraus, Anja/Budde, Jürgen/Hietzge, Maud Corinna/Wulf, Christoph (Hrsg.): Handbuch Schweigendes Wissen. Erziehung, Bildung, Sozialisation und Lernen. Weinheim: Beltz, S. 18–28.
- Kübeler, Hans-Dieter (2014): Ansätze und Methoden medienpädagogischer Forschung. Erträge und Desiderate. Versuch einer Zwischenbilanz. In: Hartung, Anja/Schorb, Bernd/Niesyto, Horst/Moser, Heinz/Grell, Petra (Hrsg.): Jahrbuch Medienpädagogik 10 (Methodologie und Methoden medienpädagogischer Forschung). Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 27–52.
- Kuckartz, Udo (2007): QDA-Software im Methodendiskurs: Geschichte, Potenziale, Effekte. In: Kuckartz, Udo/Grunenberg, Heiko/Dresing, Thorsten (Hrsg.): Qualitative Datenanalyse: computergestützt. Methodische Hintergründe und Beispiele aus der Forschungspraxis. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 15–31.
- Kuhn, Jonas (2018): Computerlinguistische Textanalyse in der Literaturwissenschaft? Oder: „The Importance of Being Earnest“ bei quantitativen Untersuchungen. In: Bernhart, Toni/Willand, Marcus/Richter, Sandra/Albrecht, Andrea (Hrsg.): Quantitative Ansätze in den Literatur- und Geisteswissenschaften. Systematische und historische Perspektiven. Berlin/Boston: De Gruyter, S. 11–44.
- Kuhn, Thomas S. (2014): Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Lacan, Jacques (1996): Die Ethik der Psychoanalyse. Das Seminar, Buch VII. Berlin: Quadriga.

- Lampe, Karl-Heinz/Krause, Siegfried/Doerr, Martin (2010): Definition des CIDOC Conceptual Reference Model. Version 5.0.1, autorisiert durch die CIDOC CRM Special Interest Group (SIG). Berlin: ICOM Deutschland. cidoc-crm.org/sites/default/files/cidoccrm_end.pdf.
- Langs, Georg/Attenberger, Ulrike/Licandro, Roxane/Hofmanninger, Johannes/Perkonigg, Matthias/Zusag, Mario/Röhrich, Sebastian/Sobotka, Daniel/Prosch, Helmut (2020): Maschinelles Lernen in der Radiologie. Begriffsbestimmung vom Einzelzeitpunkt bis zur Trajektorie. In: Der Radiologe, 60 (1), S. 6–14. doi.org/10.1007/s00117-019-00624-x.
- Langton, Christopher G. (1996): Artificial Life. In: Boden, Margaret A. (Hrsg.): *The philosophy of artificial life*. Oxford: Oxford University Press, S. 39–94.
- Latour, Bruno (1987): *Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers through Society*. Milton Keynes: Open University Press.
- Latour, Bruno (1996): *Der Berliner Schlüssel. Erkundungen eines Liebhabers der Wissenschaften*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Latour, Bruno (1998): Über technische Vermittlung. Philosophie, Soziologie, Genealogie. In: Rammert, Werner (Hrsg.): *Technik und Sozialtheorie*. Frankfurt am Main: Campus Verlag, S. 29–81.
- Latour, Bruno (2018): *Existenzweisen. Eine Anthropologie der Modernen*. Berlin: Suhrkamp.
- Latour, Bruno/Woolgar, Steve (1986): *Laboratory life. The Construction of Scientific Facts*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Lazer, David/Pentland, Alex/Adamic, Lada/Aral, Sinan/Barabasi, Albert-Laszlo/Brewer, Devon/Christakis, Nicholas/Contractor, Noshir/Fowler, James/Gutmann, Myron/Jebara, Tony/King, Gary/Macy, Michael/Roy, Deb/van Alstyne, Marshall (2009): Computational Social Science. In: *Science*, 323 (5915), S. 721–723.
- LeCun, Yann/Bengio, Yoshua/Hinton, Geoffrey (2015): Deep learning. In: *Nature*, 521 (7553), S. 436–444. doi.org/10.1038/nature14539.
- Lessig, Lawrence (2006): *Code*. Version 2.0. New York: Basic Books.
- Lévi-Strauss, Claude (2020): *Das wilde Denken*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Lewin, Kurt (1981): *Wissenschaftstheorie I*. Bern/Stuttgart: Huber.
- Liggieri, Kevin/Müller, Oliver (2019): *Mensch-Maschine-Interaktion. Handbuch zu Geschichte – Kultur – Ethik*. Berlin/Heidelberg: J.B. Metzler.
- Litt, Theodor (1948): *Mensch und Welt. Grundlinien einer Philosophie des Geistes*. München: F. Frommann.
- Litt, Theodor (1954): *Naturwissenschaft und Menschenbildung*. Heidelberg: Quelle & Meyer.
- LMZ (o. J.): Basiskurs Medienbildung. lmz-bw.de/medienbildung/medienbildung-an/weiterfuehrende-schulen/basiskurs-medienbildung.
- Lobinger, Katharina (2012): *Visuelle Kommunikationsforschung. Medienbilder als Herausforderung für die Kommunikations- und Medienwissenschaft*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Löbl, Rudolf (2003): *Von den Sophisten bis zu Aristoteles*. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Lobo, Sascha (2021): Die neue Weltmacht der Bio-Plattformen. spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/mrna-technologie-die-neue-weltmacht-der-bio-plattformen-a-c87fa211-1897-47cf-8a1b-cd9ded973e6f.
- Lodi, Michael/Martini, Simone (2021): Computational Thinking. Between Papert and Wing. In: *Science & Education*, 30 (4), S. 883–908. link.springer.com/article/10.1007/s11191-021-00202-5.
- Loleit, Simone (2004): „The mere digital Process of Turning Over Leaves“. Zur Wort- und Begriffsgeschichte von „digital“. In: Schröter, Jens/Böhnke, Alexander (Hrsg.): *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung*. Bielefeld: transcript Verlag, S. 193–214.
- Lowe, Derek (2023): Protein Design the AI Way. science.org/content/blog-post/protein-design-ai-way.
- Luber, Stefan (2024a): Was ist subsymbolische KI? bigdata-insider.de/was-ist-subsymbolische-ki-a-6005faede043b6898ff51d9365d36391.
- Luber, Stefan (2024b): Was ist symbolische KI? bigdata-insider.de/was-ist-symbolische-ki-a-a4729b193881395079a102683c2ab673.

- Luhmann, Niklas (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Luhmann, Niklas (2004): Einführung in die Systemtheorie. Heidelberg: Carl-Auer-Systeme-Verlag
- Luhmann, Niklas/Schorr, Karl Eberhard (1982): Das Technologiedefizit der Erziehung und die Pädagogik. In: Luhmann, Niklas/Schorr, Karl Eberhard (Hrsg.): Zwischen Technologie und Selbstreferenz. Fragen an die Pädagogik. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 11–41.
- Lyre, Holger (2020): Grundlagenfragen der Neurocomputation und Neurokognition. In: Mainzer, Klaus (Hrsg.): Philosophisches Handbuch Künstliche Intelligenz. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 1–25.
- Maak, Niklas (2021): Am Rhein brennt Europas Datenschatz. faz.net/aktuell/feuilleton/medien/groesstes-rechenzentrum-europas-brennt-komplett-nieder-17241629.html.
- Mahrdrdt, Helgard (2007): Phronēsis bei Aristoteles und Hannah Arendt. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, 55 (4), S. 587–604 (Preprint S. 1–17).
- Mainzer, Klaus (2006): Einführung. Kolloquium 19 – Können Computer kreativ sein? In: Abel, Günter (Hrsg.): Kreativität. XX. Deutscher Kongress für Philosophie, 26.–30. September 2005 an der Technischen Universität Berlin: Kolloquienbeiträge. Hamburg: Felix Meiner Verlag, S. 867–884.
- Mainzer, Klaus/Küchlin, Wolfgang (2020): Logische Grundlagen der klassischen KI. In: Mainzer, Klaus (Hrsg.): Philosophisches Handbuch Künstliche Intelligenz. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 1–17.
- Manovich, Lev (2001): The Language of New Media. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Manovich, Lev (2013): Software Takes Command. London: Bloomsbury Academic.
- Manovich, Lev (2014): Trending. Verheißenungen und Herausforderungen der Big Social Data. In: Reichert, Ramón (Hrsg.): Big Data. Analysen zum digitalen Wandel von Wissen, Macht und Ökonomie. Bielefeld: transcript Verlag, S. 65–83.
- Manovich, Lev (2023): Seven Arguments about AI Images and Generative Media. manovich.net/index.php/projects/seven-arguments-about-ai-images-and-generative-media.
- Marci-Boehncke, Gudrun/Rath, Matthias (2014): Medienpädagogik und Medienbildung – zur Konvergenz der Wissenschaft von der Medienkompetenz. In: Karmasin, Matthias/Rath, Matthias/Thomaß, Barbara (Hrsg.): Kommunikationswissenschaft als Integrationsdisziplin. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 117–133.
- Margreiter, Reinhard (2001): Wissenschaftsphilosophie als Medienphilosophie. In: Hug, Theo (Hrsg.): Wie kommt Wissenschaft zu Wissen? Einführung in die Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsforschung (Band 4). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 199–213.
- Marino, Mark C. (2020): Critical Code Studies. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Marotzki, Winfried (1990): Entwurf einer strukturalen Bildungstheorie. Biographietheoretische Auslegung von Bildungsprozessen in hochkomplexen Gesellschaften. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- Marotzki, Winfried/Jörissen, Benjamin (2010): Dimensionen strukturaler Medienbildung. In: Herzig, Bardo/Meister, Dorothee M./Moser, Heinz/Niesyto, Horst (Hrsg.): Jahrbuch Medienpädagogik 8 (Medienkompetenz und Web 2.0). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 19–39.
- Marr, David (1977): Artificial intelligence. A personal view. In: Artificial Intelligence, 9 (1), S. 37–48. doi.org/10.1016/0004-3702(77)90013-3.
- Marres, Noortje (2017): Digital Sociology. The Reinvention of Social Research. Cambridge/Malden: Polity.
- MAXQDA (2020): MAXQDA 2020 Manual. Twitter-Daten. maxqda.com/de/hilfe-mx20/dokumente/twitter.
- MAXQDA (2022a): MAXQDA 2022 Manual (Online-Version). Kapitel 27: Was ist AI Assist (Beta)? maxqda.com/de/hilfe-mx22/27-ai-assist/was-ist-ai-assist-beta.
- MAXQDA (2022b): MAXQDA 2022 Manual (PDF-Version). maxqda.com/de/hilfe-mx22/willkommen.
- Mayer-Schönberger, Viktor/Cukier, Kenneth (2013): Big Data. A Revolution That Will Transform How We Live, Work and Think. Boston, Mass.: Houghton Mifflin Harcourt.
- Mayntz, Renate (2005): Forschungsmethoden und Erkenntnispotential Natur- und Sozialwissenschaften im Vergleich. Köln: Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung.

- Mayring, Philipp (2022): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. Weinheim: Julius Beltz.
- Mazzone, Marian/Elgammal, Ahmed (2019): Art, Creativity, and the Potential of Artificial Intelligence. In: Arts, 8 (1), S. 26. doi.org/10.3390/arts8010026.
- McCormick, Bruce/DeFanti, Thomas/Brown, Maxine (1987): Visualization in Scientific Computing. Definition, Domain and Recommendations. In: Computer Graphics, 22 (6), S. 1–14.
- McKim, Joel (2017): Envisioning a Technological Humanism – A Review of Yuk Hui’s, On the Existence of Digital Objects. In: Computational Culture, 6. computationalculture.net/envisioning-a-technological-humanism-a-review-of-yuk-huis-on-the-existence-of-digital-objects.
- McLuhan, Marshall (1984): Das Medium ist Massage. Frankfurt am Main/Berlin: Verlag Ullstein.
- McLuhan, Marshall (1992): Die magischen Kanäle. Understanding Media. Düsseldorf/Wien/New York/Moskau: ECON Verlag.
- Meeks, Elijah/Weingart, Scott B. (2012): The Digital Humanities Contribution to Topic Modeling. In: Journal of Digital Humanities, 2 (1). journalofdigitalhumanities.org/files/jdh_2_1.pdf.
- Mersch, Dieter (2006): Mediale Paradoxa. Einleitung in eine negative Medienphilosophie. In: sic et non. Zeitschrift für philosophie und kultur. im netz, S. 1–18.
- Mersch, Dieter (2013): Medientheorien zur Einführung. Hamburg: Junius.
- Mersch, Dieter (2015): Wozu Medienphilosophie? Eine programmatische Einleitung. In: Internationales Jahrbuch für Medienphilosophie, 1 (1), S. 13–48.
- Mersch, Dieter (2016): Kritik der Operativität. Bemerkungen zu einem technologischen Imperativ. In: Internationales Jahrbuch für Medienphilosophie, 2 (1), S. 31–52.
- Merz, Martina (2002): Kontrolle – Widerstand – Ermächtigung: Wie Simulationssoftware Physiker konfiguriert. In: Rammert, Werner/Schulz-Schaeffer, Ingo (Hrsg.): Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik. Frankfurt am Main: Campus Verlag, S. 267–290.
- Merz, Martina/Knorr Cetina, Karin (1994): Deconstructing in a ‘Thinking’ Science: Theoretical Physicists at Work. CERN. cds.cern.ch/record/259387/files/P00021383.pdf.
- Mey, Günter/Mruck, Katja (2011): Grounded-Theory-Methodologie: Entwicklung, Stand, Perspektiven. In: Mey, Günter/Mruck, Katja (Hrsg.): Grounded Theory Reader. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 11–48.
- Meyer, Eric T./Schroeder, Ralph (2015): Knowledge Machines. Digital Transformations of the Sciences and Humanities. Cambridge, Mass: The MIT Press.
- Meyer-Drawe, Käte (1996): Menschen im Spiegel ihrer Maschinen. München: Fink.
- Miller, Arthur (2020): Can AI Be Truly Creative? In: American Scientist, 108 (4), S. 244.
- Mishra, Punya/Koehler, Matthew J. (2006): Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. In: Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education, 108 (6), S. 1017–1054.
- Misselhorn, Catrin (2022): Grundfragen der Maschinennethik. Ditzingen: Reclam.
- Missomelius, Petra (2018): Kritik als Cultural Hacking. Zur Ermöglichung widerständiger Praktiken. In: Nie-syto, Horst/Moser, Heinz (Hrsg.): Medienkritik im digitalen Zeitalter. München: kopaed, S. 167–178.
- Missomelius, Petra (2022): Bildung – Medien – Mensch. Mündigkeit im Digitalen. Göttingen: V&R unipress.
- MIT (o. J.): Lifelong Kindergarten Overview. media.mit.edu/groups/lifelong-kindergarten/overview.
- Mittelstraß, Jürgen (1982): Wissenschaft als Lebensform. Reden über philosophische Orientierungen in Wissenschaft und Universität. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Mittelstraß, Jürgen (1989): Der Flug der Eule. Von der Vernunft der Wissenschaft und der Aufgabe der Philosophie. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Mittelstraß, Jürgen (2001): Wissen und Grenzen. Philosophische Studien. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Mittelstraß, Jürgen (2017): Schöne neue Leonardo-Welt. Philosophische Betrachtungen. Weilerswist: Velbrück Wissenschaft.
- Mittelstraß, Jürgen (2020): Leonardo-Welten. Zwischen Kunst und Wissenschaft. Weilerswist: Velbrück Wissenschaft.

- Moretti, Franco (2013): *Distant Reading*. London/New York: Verso.
- Moser, Heinz (2005): Wege aus der Technikfalle. *eLearning und eTeaching*. Zürich: Verlag Pestalozzianum.
- Moser, Heinz (2021): Überlegungen zum Lernen mit und über Medien im Zeitalter der Digitalisierung. In: *MedienPädagogik*, 17 (Jahrbuch Medienpädagogik: Lernen mit und über Medien in einer digitalen Welt), S. 709–732.
- Müller, Henrik (2022): Die Protein-Träumer. laborjournal.de/editorials/2552.php.
- Müller, Oliver (2008): Natur und Technik als falsche Antithese. Die Technikphilosophie Hans Blumenbergs und die Struktur der Technisierung. In: *Philosophisches Jahrbuch*, 115 (1), S. 99–124.
- Nake, Frieder (2001): Vilém Flusser und Max Bense des Pixels angesichtig werdend. Eine Überlegung am Rande der Computergrafik. In: Jäger, Gottfried (Hrsg.): *Fotografie denken. Über Vilém Flusser's Philosophie der Medienmoderne*. Bielefeld: Kerber, S. 169–182.
- Nake, Frieder (2016): The Disappearing Masterpiece. Digital Image & Algorithmic Revolution. In: Verdicio, Mario/Clifford, Alison/Rangel, André/Miguel Carvalhais, Miguel (Hrsg.): *xCoAx 2016. Proceedings of the Fourth Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X*. Bergamo: *xCoAx 2016*, S. 12–27.
- Nassehi, Armin (2017): Die letzte Stunde der Wahrheit. Kritik der komplexitätsvergessenen Vernunft. Hamburg: Sven Murmann Verlagsgesellschaft mbH.
- Nassehi, Armin (2019): Muster. Theorie der digitalen Gesellschaft. München: C.H. Beck.
- Nassehi, Armin (2021): In a nutshell: Armin Nassehi: Für welches Problem ist die Digitalisierung eine Lösung? (Vortrag Alexander von Humboldt Institut für Internet und Gesellschaft). [youtube.com/watch?v=-MvVUnQas8w](https://www.youtube.com/watch?v=-MvVUnQas8w).
- Navas, Eduardo/Gallagher, Owen/Burrough, xtine (2015): *The Routledge Companion to Remix Studies*. New York: Taylor & Francis.
- Neuberger, Christoph/Weingart, Peter/Fähnrich, Birte/Fächer, Benedikt/Schäfer, Mike S./Schmid-Petri, Hannah/Wagner, Gert G. (2021): Der digitale Wandel in der Wissenschaftskommunikation (Arbeitspapier). Berlin. edoc.bbaw.de/opus4-bbaw/frontdoor/index/index/year/2021/docId/3526.
- Neubert, Stefan (2004): Pragmatismus – thematische Vielfalt in Deweys Philosophie und in ihrer heutigen Rezeption. In: Hickman, Larry A./Neubert, Stefan/Reich, Kersten (Hrsg.): *John Dewey. Zwischen Pragmatismus und Konstruktivismus*. Münster/New York/München/Berlin: Waxmann, S. 13–27.
- Neuenfeld, Jörg (2005): Alles ist Spiel. Zur Geschichte der Auseinandersetzung mit einer Utopie der Moderne. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Neuweg, Georg Hans (2020): Könnenschaft und implizites Wissen. Zur lehr-lerntheoretischen Bedeutung der Erkenntnis- und Wissenstheorie Michael Polanyis. Münster/New York: Waxmann.
- Nida-Rümelin, Julian/Weidenfeld, Nathalie (2018): Digitaler Humanismus. Eine Ethik für das Zeitalter der Künstlichen Intelligenz. München: Piper.
- Niesyto, Horst (2017): Medienkritik. In: Schorb, Bernd/Hartung-Griemberg, Anja/Dallmann, Christine (Hrsg.): *Grundbegriffe Medienpädagogik*. München: kopaed, S. 266–272.
- Nola, Robert/Sankey, Howard (2014): *Theories of Scientific Method. An Introduction*. Hoboken: Taylor & Francis.
- Noller, Jörg (2021): Philosophie der Digitalität. In: Hauck-Thum, Uta/Noller, Jörg (Hrsg.): *Was ist Digitalität? Philosophische und pädagogische Perspektiven*. Berlin/Heidelberg: J.B. Metzler, S. 39–54.
- Norman, Donald A. (2016): *The design of everyday things. Psychologie und Design der alltäglichen Dinge*. München: Verlag Franz Vahlen.
- Oberhofer, Walter/Zimmerer, Thomas (1996): Wie Künstliche Neuronale Netze lernen: Ein Blick in die Black Box der Backpropagation Netzwerke. Regensburg: Universität Regensburg, Institut für Volkswirtschaftslehre einschließlich Ökonometrie.
- Oelkers, Jürgen (1985): Theodor Litt redivivus? Überlegungen im Anschluß an neue Arbeiten zu Person und Werk. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 31 (5), S. 663–682.

- Oevermann, Ulrich (2013): Objektive Hermeneutik als Methodologie der Erfahrungswissenschaften von der sinnstrukturierten Welt. In: Langer, Phil C./Kühner, Angela/Schweder, Panja (Hrsg.): Reflexive Wissensproduktion. Anregungen zu einem kritischen Methodenverständnis in qualitativer Forschung. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 69–98.
- Ong, Walter J. (2016): Oralität und Literalität. Die Technologisierung des Wortes. Wiesbaden: Springer VS.
- Ortega y Gasset, José (1952): Signale unserer Zeit. Essays. Stuttgart/Zürich/Salzburg: Europäischer Buchklub.
- Papert, Seymour (2020): Mindstorms. Children, Computers, and Powerful Ideas. New York: Basic Books.
- Parry, Richard (2003): Epistêmê and Technê. plato.stanford.edu/archives/sum2003/entries/episteme-technē.
- Paulsen, Thomas/Rehn, Rudolf (2019): Platon: Phaidros (übersetzt, mit Anmerkungen versehen und herausgegeben von Thomas Paulsen und Rudolf). Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Peirce, Charles Sanders (1960a): Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Volume V: Pragmatism and Pragmaticism. Edited by Charles Hartshorne and Paul Weiss. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Peirce, Charles Sanders (1960b): Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Volume VI: Scientific Metaphysics. Edited by Charles Hartshorne and Paul Weiss. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Peirce, Charles Sanders (1965): Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Volume I: Principles of Philosophy. Edited by Charles Hartshorne and Paul Weiss. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Petko, Dominik (2020): Einführung in die Mediendidaktik. Lehren und Lernen mit digitalen Medien. Mit E-Book inside. Weinheim: Beltz.
- Pew Research Center (2015): U.S. Smartphone Use in 2015. pewresearch.org/internet/2015/04/01/us-smartphone-use-in-2015.
- Pigliucci, Massimo (2009): The end of theory in science? In: EMBO reports, 10 (6), S. 534. doi.org/10.1038/embor.2009.111.
- Polanyi, Michael (1968): Logic and Psychology. In: American Psychologist, 23 (1), S. 27–43.
- Polanyi, Michael (1969): Knowing and Being. Essays by Michael Polanyi. Chicago: The University of Chicago Press.
- Polanyi, Michael (1997): Society, Economics & Philosophy. Selected Papers. New Brunswick/London: Transaction Publishers.
- Polanyi, Michael (2002): Personal Knowledge. Towards a Post-Critical Philosophy. London: Routledge.
- Polanyi, Michael (2016): Implizites Wissen. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Popper, Karl R. (1984): Logik der Forschung. Tübingen: Mohr.
- Popper, Karl R. (1994): Alles Leben ist Problemlösen. Über Erkenntnis, Geschichte und Politik. München/Zürich: Piper.
- Rädiker, Stefan/Kuckartz, Udo (2019): Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA. Text, Audio und Video. Wiesbaden: Springer VS.
- Rammert, Werner (1998): Die kulturelle Orientierung in der technischen Entwicklung. Eine technikgenetische Perspektive. In: Siefkes, Dirk/Eulenhöfer, Peter/Stach, Heike/Städler, Klaus (Hrsg.): Sozialgeschichte der Informatik. Kulturelle Praktiken und Orientierungen. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, S. 51–68.
- Rammert, Werner (2000): Technik aus soziologischer Perspektive 2. Kultur – Innovation – Virtualität. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Rammert, Werner (2016): Technik – Handeln – Wissen. Zu einer pragmatistischen Technik- und Sozialtheorie. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Rammert, Werner/Schulz-Schaeffer, Ingo (2002a): Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik. Frankfurt am Main: Campus Verlag.

- Rammert, Werner/Schulz-Schaeffer, Ingo (2002b): Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt. In: Rammert, Werner/Schulz-Schaeffer, Ingo (Hrsg.): Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik. Frankfurt am Main: Campus Verlag, S. 11–64.
- Ramming, Ulrike (2012): Der Ausdruck „Medium“ an der Schnittstelle von Medien-, Wissenschafts- und Technikphilosophie. In: Müunker, Stefan/Roesler, Alexander (Hrsg.): Was ist ein Medium? Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 249–271.
- Rath, Matthias (2014): Ethik der mediatisierten Welt. Grundlagen und Perspektiven. Wiesbaden: Springer VS.
- Rath, Matthias (2019a): Data Science – die neue Leitwissenschaft? In: Knubben, Thomas/Schöls, Erich/Braun, Uli (Hrsg.): Weltkulturatlas. Kultur in Zeiten der Globalisierung. Stuttgart: avedition, S. 21–37.
- Rath, Matthias (2019b): Zur Verantwortungsfähigkeit künstlicher „moralischer Akteure“. Problemanzeige oder Ablenkungsmanöver? In: Rath, Matthias/Krotz, Friedrich/Karmasin, Matthias (Hrsg.): Maschinennethik. Normative Grenzen autonomer Systeme. Wiesbaden/Heidelberg: Springer VS, S. 223–242.
- Rath, Matthias (2020): Sind „moral machines“ kulturrelativ? Maschinennethische Anmerkungen zu einem psychologisch-informatischen Experiment. In: Prinzing, Marlis/Debatin, Bernhard S./Köberer, Nina (Hrsg.): Kommunikations- und Medienethik reloaded? Bad Heilbrunn: Nomos, S. 105–114.
- Raunig, Michael/Höfler, Elke (2018): Digitale Methoden? Über begriffliche Wirrungen und vermeintliche Innovationen. In: Digital Classics Online, 4 (1), S. 12–22. nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-dco-472897.
- Reckwitz, Andreas (2003): Grundelemente einer Theorie sozialer Praktiken / Basic Elements of a Theory of Social Practices. In: Zeitschrift für Soziologie, 32 (4), S. 282–301. degruyter.com/view/journals/zfsoz/32/4/article-p282.xml.
- Reckwitz, Andreas (2017): Die Gesellschaft der Singularitäten. Zum Strukturwandel der Moderne. Berlin: Suhrkamp.
- Rehbein, Malte (2017): Ontologien. In: Jannidis, Fotis/Kohle, Hubertus/Rehbein, Malte (Hrsg.): Digital Humanities. Eine Einführung. Stuttgart: J.B. Metzler, S. 162–176.
- Reiche, Ruth/Becker, Rainer/Bender, Michael/Munson, Mathew/Schmunk, Stefan/Schöch, Christof (2014): Verfahren der Digital Humanities in den Geistes- und Kulturwissenschaften (DARIAH-DE Working Papers, 4). Göttingen: DARIAH-DE. publications.goettingen-research-online.de/handle/2/108283.
- Reichert, Ramon (2008): Amateure im Netz. Selbstmanagement und Wissenstechnik im Web 2.0. Bielefeld: transcript Verlag.
- Reichert, Ramón (2014a): Big Data. Analysen zum digitalen Wandel von Wissen, Macht und Ökonomie. Bielefeld: transcript Verlag.
- Reichert, Ramón (2014b): Einleitung. In: Reichert, Ramón (Hrsg.): Big Data. Analysen zum digitalen Wandel von Wissen, Macht und Ökonomie. Bielefeld: transcript Verlag, S. 9–31.
- Reichert, Ramón (2017): Theorien digitaler Medien. In: Jannidis, Fotis/Kohle, Hubertus/Rehbein, Malte (Hrsg.): Digital Humanities. Eine Einführung. Stuttgart: J.B. Metzler, S. 19–34.
- Reichertz, Jo (2003): Die Abduktion in der qualitativen Sozialforschung. Opladen: Leske + Budrich.
- Reißmann, Wolfgang (2019): Digitalisierung, Mediatisierung und die vielen offenen Fragen nach dem Wandel visueller Alltagskultur. In: Lobinger, Katharina (Hrsg.): Handbuch Visuelle Kommunikationsforschung. Wiesbaden: Springer VS, S. 45–61.
- Resnick, Mitchel (2020): Lifelong Kindergarten. Warum eine kreative Lernkultur im digitalen Zeitalter so wichtig ist. Berlin: Bananenblau – der Praxisverlag für Pädagogen.

- Resnick, Mitchel/Martin, Fred/Berg, Robert/Borovoy, Rick/Colella, Vanessa/Kramer, Kwin/Silverman, Brian (1998): Digital manipulatives. New Toys to Think With. In: Karat, Claire-Marie (Hrsg.): Human factors in computing systems. CHI 98: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 18–23 April, 1998, Los Angeles, California. New York/Harlow: Association for Computing Machinery; Addison-Wesley, S. 281–287.
- Rheinberger, Hans-Jörg (1992): Experiment, Differenz, Schrift. Zur Geschichte epistemischer Dinge. Marburg an der Lahn: Basiliken-Presse.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2001): Putting Isotopes to Work: Liquid Scintillation Counters, 1950–1970. In: Joerges, Bernward/Shinn, Terry (Hrsg.): Instrumentation Between Science, State and Industry. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, S. 143–174.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2005): Iterationen. Berlin: Merve.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2006): Experimentalssysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Prozesssynthese im Reagenzglas. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2007): Wie werden aus Spuren Daten, und wie verhalten sich Daten zu Fakten? In: Gugerli, David/Hagner, Michael/Hampe, Michael/Orland, Barbara/Tanner, Jakob (Hrsg.): Nach Feierabend (Zürcher Jahrbuch für Wissenschaftsgeschichte 3). Datenbanken. Zürich/Berlin: Diaphanes, S. 117–125.
- Richter, Christoph/Allert, Heidrun (2020): Bildung an der Schnittstelle von kultureller Praxis und digitaler Kultertechnik. In: MedienPädagogik, 39 (Orientierungen in der digitalen Welt), S. 13–31. doi.org/10.21240/mpaed/39/2020.12.02.X.
- Richter, Christoph/Allert, Heidrun (2024): Die Illusion der Regel. Datafizierung als Form technischer Welterzeugung. In: Schiefner-Rohs, Mandy/Hofhues, Sandra/Breiter, Andreas (Hrsg.): Datafizierung (in) der Bildung. Kritische Perspektiven auf digitale Vermessung in pädagogischen Kontexten. Bielefeld: transcript Verlag, S. 43–61.
- Robben, Bernard (2006): Der Computer als Medium. Eine transdisziplinäre Theorie. Bielefeld: transcript Verlag.
- Robben, Bernard/Schelhowe, Heidi (2012a): Be-greifbare Interaktionen. Der allgegenwärtige Computer: Touchscreens, Wearables, Tangibles und Ubiquitous Computing. Bielefeld: transcript Verlag.
- Robben, Bernard/Schelhowe, Heidi (2012b): Was heißt be-greifbare Interaktion? In: Robben, Bernard/Schelhowe, Heidi (Hrsg.): Be-greifbare Interaktionen. Der allgegenwärtige Computer: Touchscreens, Wearables, Tangibles und Ubiquitous Computing. Bielefeld: transcript Verlag, S. 7–15.
- Roberge, Jonathan/Seyfert, Robert (2017): Was sind Algorithmuskulturen? In: Seyfert, Robert/Roberge, Jonathan (Hrsg.): Algorithmuskulturen. Über die rechnerische Konstruktion der Wirklichkeit. Bern: transcript Verlag, S. 7–40.
- Rogers, Richard (2013): Digital Methods. Cambridge, Mass./London: The MIT Press.
- Rohbeck, Johannes (1993): Technologische Urteilskraft. Zu einer Ethik technischen Handelns. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Röhle, Theo (2014): Big Data – Big Humanities? Eine historische Perspektive. In: Reichert, Ramón (Hrsg.): Big Data. Analysen zum digitalen Wandel von Wissen, Macht und Ökonomie. Bielefeld: transcript Verlag, S. 157–172.
- Röll, Franz Josef (2022): Gamification. Wie Spiele unseren Lebensalltag durchdringen. In: Geisler, Martin/Poerschke, Dirk/Tappe, Eik-Henning/Berlenbach, Nadine (Hrsg.): Lasst uns spielen! Medienpädagogik und Spielkulturen (Schriften zur Medienpädagogik 58). München: kopaed, S. 1–19. gmknet.de/publikationen/artikel.
- Romero, Margarida/Lepage, Alexandre/Lille, Benjamin (2017): Computational thinking development through creative programming in higher education. In: International Journal of Educational Technology in Higher Education, 14 (42), S. 1–15. doi.org/10.1186/s41239-017-0080-z.
- Ropohl, Günter (2001): Das neue Technikverständnis. In: Ropohl, Günter/Braun, Martin (Hrsg.): Erträge der interdisziplinären Technikforschung. Eine Bilanz nach 20 Jahren. Berlin: Schmidt, S. 11–30.

- Ropohl, Günter (2009): Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Ropohl, Günter (2016): Technologische Aufklärung. Beiträge zur Technikphilosophie. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Ryle, Gilbert (1959): The Concept of Mind. London: Hutchinson.
- Schäffer, Burkhard (2022a): „Das Medium ist die Methode“. In: Fuchs, Thorsten/Demmer, Christine/Wiezorek, Christine (Hrsg.): Aufbrüche, Umbrüche, Abbrüche. Wegmarken qualitativer Bildungs- und Biographieforschung. Leverkusen-Opladen: Verlag Barbara Budrich, S. 145–166.
- Schäffer, Burkhard (2022b): Möglichkeiten und Grenzen der Optimierung von Verfahren Tiefer Interpretation durch Softwareunterstützung. In: Zeitschrift für Qualitative Forschung, 23 (1), S. 30–49.
- Schäffer, Burkhard/Klinge, Denise/Krämer, Franz (2021): Qualitatives Methodenlernen im Kontext digitaler Medien. In: Zeitschrift für Qualitative Forschung, 21 (2-2020), S. 163–183.
- Schäffer, Burkhard/Lieder, Fabio Roman (2023): Distributed interpretation – teaching reconstructive methods in the social sciences supported by artificial intelligence. In: Journal of Research on Technology in Education, 55 (1), S. 111–124.
- Schaumburg, Heike (2015): Chancen und Risiken digitaler Medien in der Schule. Medienpädagogische und -didaktische Perspektiven. Gütersloh: bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/chancen-und-risiken-digitaler-medien-in-der-schule.
- Schaumburg, Heike/Prasse, Doreen (2019): Medien und Schule. Theorie – Forschung – Praxis. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Schelhowe, Heidi (1997): Das Medium aus der Maschine. Zur Metamorphose des Computers. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Schelhowe, Heidi (2004): Produktionsmaschine oder Kommunikationsmedium? Carl Adam Petri und sein Vorschlag für eine einheitliche Theorie der Computertechnologie. In: Hellige, Hans Dieter (Hrsg.): Geschichten der Informatik. Visionen, Paradigmen, Leitmotive. Berlin/Heidelberg: Springer, S. 323–338.
- Schelhowe, Heidi (2007a): Interaktion und Interaktivität Aufforderungen zu einer technologiebewussten Medienpädagogik. In: Sesink, Werner/Kerres, Michael/Moser, Heinz (Hrsg.): Medienpädagogik. Standortbestimmung einer erziehungswissenschaftlichen Disziplin. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 144–160.
- Schelhowe, Heidi (2007b): Technologie, Imagination und Lernen. Grundlagen für Bildungsprozesse mit digitalen Medien. Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.
- Schelhowe, Heidi (2011): Interaktionsdesign. Wie werden Digitale Medien zu Bildungsmedien? In: Zeitschrift für Pädagogik, 57 (3), S. 350–362. pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=8730.
- Schelhowe, Heidi (2012): Interaktionsdesign für reflexive Erfahrung. Digitale Medien für Bildung. In: Robben, Bernard/Schelhowe, Heidi (Hrsg.): Be-greifbare Interaktionen. Der allgegenwärtige Computer: Touchscreens, Wearables, Tangibles und Ubiquitous Computing. Bielefeld: transcript Verlag, S. 253–272.
- Schelhowe, Heidi (2016): ‘Through the Interface‘. Medienbildung in der digitalisierten Kultur. In: MedienPädagogik, 25 (Medienbildung und informatische Bildung – quo vadis?), S. 41–58. doi.org/10.21240/mpaed/25/2016.10.27.X.
- Schell, Fred (2003): Aktive Medienarbeit mit Jugendlichen. Theorie und Praxis. München: kopaed.
- Schenk, Sabrina (2022): Experimentieren in der Netzwerkgesellschaft. Praktiken der Bildung in der Kultur der Digitalität. In: Zulaica y Mugica, Miguel/Zehbe, Klaus-Christian (Hrsg.): Rhetoriken des Digitalen. Adressierungen an Die Pädagogik. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 65–81.
- Schieffner-Rohs, Mandy/Hofhues, Sandra (2018): Prägende Kräfte. Medien und Technologie(n) an Hochschulen. In: Weich, Andreas/Othmer, Julius/Zickwolf, Katharina (Hrsg.): Medien, Bildung und Wissen in der Hochschule. Wiesbaden: Springer VS, S. 239–254.
- Schieffner-Rohs, Mandy/Hofhues, Sandra/Breiter, Andreas (2024): Datafizierung (in) der Bildung. Kritische Perspektiven auf digitale Vermessung in pädagogischen Kontexten. Bielefeld: transcript Verlag.

- Schiller, Friedrich (2016): Briefe über die ästhetische Erziehung des Menschen. Berlin: Hofenberg.
- Schleicher, Andreas/Partovi, Hadi (2019): Computer Science and PISA 2021. oecdudedtoday.com/computer-science-and-pisa-2021.
- Schmid, Mirjam/Petko, Dominik (2020): „Technological Pedagogical Content Knowledge“ als Leitmodell medienpädagogischer Kompetenz. In: MedienPädagogik, 17 (Jahrbuch Medienpädagogik: Lernen mit und über Medien in einer digitalen Welt), S. 121–140. doi.org/10.21240/mpaed/jb17/2020.04.28.X.
- Schmidgen, Henning (2001): Der Psychologe der Maschinen. Über Gilbert Simondon und zwei Theorien technischer Objekte. In: Kraft Alsop, Christiane (Hrsg.): Grenzgängerin. Bridges Between Disciplines. Eine Festschrift für Irmgard Staebule. Heidelberg: Asanger, S. 265–287.
- Schmidgen, Henning (2012): Das Konzert der Maschinen. Simondons politisches Programm. In: Zeitschrift für Medien- und Kulturforschung, 3 (2), S. 117–134. doi.org/10.25969/mediarep/18510.
- Schnapp, Jeffrey/Presner, Todd (2009): The Digital Humanities Manifesto 2.0. jeffreyschnapp.com/wp-content/uploads/2011/10/Manifesto_V2.pdf.
- Schnell, Martin W./Dunger, Christine (2019): Digitalisierung der Lebenswelt. Studien zur Krisis nach Husserl. Weilerswist: Velbrück Wissenschaft.
- Schöch, Christof (2017): Information Retrieval. In: Jannidis, Fotis/Kohle, Hubertus/Rehbein, Malte (Hrsg.): Digital Humanities. Eine Einführung. Stuttgart: J.B. Metzler, S. 268–298.
- Schön, Donald A. (1983): The Reflective Practitioner. How Professionals Think in Action. New York: Basic Books.
- Schön, Donald A. (1992): The Theory of Inquiry: Dewey's Legacy to Education. In: Curriculum Inquiry, 22 (2), S. 119–139.
- Schön, Sandra/Ebner, Martin (2019): Making – eine Bewegung mit Potenzial. In: merz – medien+erziehung, 63 (4), S. 9–15.
- Schorb, Bernd (2011): Zur Theorie der Medienpädagogik. In: MedienPädagogik, 20 (Medienbildung und Medienkompetenz), S. 81–94. doi.org/10.21240/mpaed/20/2011.09.14.X.
- Schorb, Bernd (2017): Handlungsorientierte Medienpädagogik. In: Schorb, Bernd/Hartung-Griemberg, Anja/Dallmann, Christine (Hrsg.): Grundbegriffe Medienpädagogik. München: kopaed, S. 134–141.
- Schröder, Christoph/Richter, Christoph (2022): Relationale Affordanzen. Oder die Möglichkeit einer „fantastischen Authentizität“ auf Instagram. In: Böhneke, Nick/Richter, Christoph/Schröder, Christoph/Ide, Martina/Allert, Heidrun (Hrsg.): Spuren digitaler Artikulationen. Bielefeld: transcript Verlag, S. 139–170.
- Schröter, Jens (2004): Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum. In: Schröter, Jens/Böhneke, Alexander (Hrsg.): Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung. Bielefeld: transcript Verlag, S. 7–30.
- Schulz-Schaeffer, Ingo (2000): Sozialtheorie der Technik. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Schulz-Schaeffer, Ingo (2008): Technik als Gegenstand der Soziologie (Arbeitspapier). In: TUTS – Working Papers (3). nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-12318.
- Scinexx.de (2022): Durchbruch für Silizium-Quantencomputer. Siliziumbasierte Quantenbit-Schaltkreise erreichen erstmals mehr als 99-prozentige Zuverlässigkeit. scinexx.de/news/technik/durchbruch-fuer-silizium-quantencomputer.
- Scratch-Wiki (o. J.a): Remixkultur. de.scratch-wiki.info/wiki/Scratch#Remixingkultur.
- Scratch-Wiki (o. J.b): Scratch. de.scratch-wiki.info/wiki/Scratch.
- Searle, John R. (1980): Minds, brains, and programs. In: Behavioral and Brain Sciences, 3 (3), S. 417–424.
- Searle, John R. (1987): Intentionalität. Eine Abhandlung zur Philosophie des Geistes. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Seidel, John V. (1998): Qualitative Data Analysis (ursprünglich veröffentlicht als: Qualitative Data Analysis, in The Ethnograph v5.0: A Users Guide, Appendix E, 1998, Colorado Springs, Colorado: Qualis Research). qualisresearch.com/qda_paper.htm.

- Senkbeil, Martin/Eickelmann, Birgit/Vahrenhold, Jan/Goldhammer, Frank/Gerick, Julia/Labusch, Amelie (2019): Das Konstrukt der computer- und informationsbezogenen Kompetenzen und das Konstrukt der Kompetenzen im Bereich ‚Computational Thinking‘ in ICILS 2018. In: Eickelmann, Birgit/Bos, Wilfried/Gerick, Julia/Goldhammer, Frank/Schaumburg, Heike/Schwippert, Senkbeil, Martin/Knut/Vahrenhold, Jan (Hrsg.): ICILS 2018 #Deutschland. Münster: Waxmann, S. 79–111.
- Sesink, Werner (1993): Menschliche und künstliche Intelligenz. Der kleine Unterschied. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Sesink, Werner (2001): Einführung in die Pädagogik. Münster/Hamburg/Berlin: LIT.
- Sesink, Werner (2004): In-formatio: die Einbildung des Computers. Beiträge zur Theorie der Bildung in der Informationsgesellschaft. Münster: LIT.
- Sesink, Werner (2006/2007): Informationstechnische Bildung. Skript zur Vorlesung im WS 2006-07. [academia.edu/37786530/Informationstechnische_Bildung](https:// academia.edu/37786530/Informationstechnische_Bildung).
- Shannon, Claude Elwood/Weaver, Warren (1998): The Mathematical Theory of Communication. Urbana: University of Illinois Press.
- Shinn, Terry/Joerges, Bernward (2002): The Transverse Science and Technology Culture: Dynamics and Roles of Research-technology. In: Social Science Information, 41 (2), S. 207–251.
- Shivanandhan, Manish (2023): Understanding Word Embeddings: The Building Blocks of NLP and GPTs. [freecodecamp.org/news/understanding-word-embeddings-the-building-blocks-of-nlp-and-gpts](https:// freecodecamp.org/news/understanding-word-embeddings-the-building-blocks-of-nlp-and-gpts).
- Silver, Christina/Lewins, Ann (2014): Using software in qualitative research. A step-by-step guide. Los Angeles: Sage.
- Simondon, Gilbert (2011): Die technische Einstellung. In: Hörl, Erich (Hrsg.): Die technologische Bedingung. Beiträge zur Beschreibung der technischen Welt. Berlin: Suhrkamp, S. 73–92.
- Simondon, Gilbert (2012): Die Existenzweise technischer Objekte. Zürich: Diaphanes.
- Smith, Craig (2023): Hallucinations Could Blunt ChatGPT’s Success. In: IEEE Spectrum. [spec-trum.ieee.org/ai-hallucination](https:// spectrum.ieee.org/ai-hallucination).
- Snow, C. P. (1961): The Two Cultures and the Scientific Revolution. The Rede lecture 1959. London: Cambridge University Press.
- Spanhel, Dieter (2010): Entwicklung und Erziehung unter den Bedingungen von Medialität. In: Pietraß, Manuela/Funiok, Rüdiger (Hrsg.): Mensch und Medien. Philosophische und sozialwissenschaftliche Perspektiven. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 65–89.
- Spektrum der Wissenschaft (2016): Der digitale Mensch (Sonderheft). 39/2016. [spektrum.de/pdf/spektrum-kompakt-der-digitale-mensch/1421601](https:// spektrum.de/pdf/spektrum-kompakt-der-digitale-mensch/1421601).
- Sperber, Dan (1975): Über Symbolik. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Sprenger, Florian (2020): Algorithmen. Zur Dominanz einer Analysekategorie. In: Huber, Martin/Krämer, Sybille/Pias, Claus (Hrsg.): Wovon sprechen wir, wenn wir von Digitalisierung sprechen? Gehalte und Revisionen zentraler Begriffe des Digitalen. Frankfurt am Main: CompaRe (Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg), S. 36–44.
- Stalder, Felix (2009): 9 Thesen zur Remix-Kultur. rights.info/fileadmin/texte/material/Stalder_Remixing.pdf.
- Stalder, Felix (2017): Kultur der Digitalität. Berlin: Suhrkamp. hsozkult.de/publicationreview/id/rezbuecher-29737.
- Steinhauser, Thomas (2012): Varian Associates (USA) und Bruker-Spectrospin (BRD/Schweiz) – Forschungstechnologie in der NMR. In: Hentschel, Klaus (Hrsg.): Zur Geschichte von Forschungstechnologien. Generizität, Interstitialität & Transfer. Diepholz/Berlin/Stuttgart: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, S. 433–454.
- Stiegler, Bernard (1998): Technics and Time (1). The fault of Epimetheus. Stanford: Stanford University Press.
- Stiegler, Bernard (2009): Der Fehler des Epimetheus. Zürich: Diaphanes.

- Strohschneider, Peter (2018): Es gilt das gesprochene Wort! Rede des Präsidenten der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Prof. Dr. Peter Strohschneider, anlässlich des Neujahrsempfangs der DFG, Berlin, 15. Januar 2018. dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/geschaftsstelle/publikationen/reden/180115_rede_strohschneider_neujahrsempfang_de.pdf.
- Strübing, Jörg (2005): Pragmatistische Wissenschafts- und Technikforschung. Theorie und Methode. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Swertz, Christian (2020): Big Data als datenbasierte Programmierung. In: MedienPädagogik, 17 (Jahrbuch Medienpädagogik: Lernen mit und über Medien in einer digitalen Welt), S. 93–119. doi.org/10.21240/mpaed/jb17/2020.04.27.X.
- Tasovac, Toma/Barbaresi, Adrien/Clérence, Thibault/Edmond, Jennifer/Ermolaev, Natalia/Garnett, Vicky/Wulfman, Clifford E. (2016): APIs in Digital Humanities: The Infrastructural Turn. In: Digital Humanities 2016, Jul 2016, Cracovie, Poland, S. 93–96. hal.science/hal-01348706v1.
- Tesch, Renata (1990): Qualitative Research: Analysis Types and Software: Analysis Types and Software Tools. New York: Falmer Press.
- Thaller, Manfred (2017): Digital Humanities als Wissenschaft. In: Jannidis, Fotis/Kohle, Hubertus/Rehbein, Malte (Hrsg.): Digital Humanities. Eine Einführung. Stuttgart: J.B. Metzler, S. 13–18.
- Thimm, Caja/Nehls, Patrick (2019): Digitale Methoden im Überblick. In: Baur, Nina/Blasius, Jörg (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 973–990.
- TikTok for Developers (o. J.a): Research API. developers.tiktok.com/products/research-api.
- TikTok for Developers (o. J.b): Research API – Frequently Asked Questions. developers.tiktok.com/doc/research-api-faq.
- Triebel, Class (2013): Fünf Jahre nach dem Ende der Theorie. In: Telepolis. heise.de/tp/features/Fuenf-Jahre-nach-dem-Ende-der-Theorie-3399508.html.
- Tulodziecki, Gerhard (2011): Zur Entstehung und Entwicklung zentraler Begriffe bei der pädagogischen Auseinandersetzung mit Medien. In: MedienPädagogik, 20 (Medienbildung und Medienkompetenz), S. 11–39. doi.org/10.21240/mpaed/20/2011.09.11.X.
- Tulodziecki, Gerhard (2016): Konkurrenz oder Kooperation? Zur Entwicklung des Verhältnisses von Medienbildung und informatischer Bildung. In: MedienPädagogik, 25 (Medienbildung und informative Bildung – quo vadis?), S. 7–25. doi.org/10.21240/mpaed/25/2016.10.25.X.
- Tulodziecki, Gerhard (2023): Medienkompetenz und Handlungstheorie. In: Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik – LBzM, 23, S. 1–15. doi.org/10.21240/lbzm/23/02.
- Tulodziecki, Gerhard/Herzig, Bardo/Grafe, Silke (2019): Medienbildung in Schule und Unterricht. Grundlagen und Beispiele. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Turing, Alan Mathison (1937): On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. In: Proceedings of the London Mathematical Society, s2-42 (1), S. 230–265.
- Turkle, Sherry (2005): The Second Self. Computers and the Human Spirit. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Turkle, Sherry (2007): Evocative Objects. Things We Whink With. Cambridge, Mass./London: MIT Press.
- Turney, P. D./Pantel, P. (2010): From Frequency to Meaning: Vector Space Models of Semantics. In: Journal of Artificial Intelligence Research, 37, S. 141–188. arxiv.org/pdf/1003.1141.pdf.
- Unreal Engine (o. J.): Blueprints Visual Scripting. dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine?application_version=5.0.
- vDhd2021 (o. J.): Experimente. Call for Participation. vdhd2021.hypotheses.org/uber/call-for-participation.
- Verständig, Dan (2020a): Code As You Are? Über kreative Praktiken des Codings und deren Bedeutung für Subjektivierungsprozesse. In: Bettinger, Patrick/Hugger, Kai-Uwe (Hrsg.): Praxistheoretische Perspektiven in der Medienpädagogik. Wiesbaden/Heidelberg: Springer VS, S. 87–110.
- Verständig, Dan (2020b): Das Allgemeine der Bildung in der digitalen Welt. In: MedienPädagogik, 39 (Orientierungen in der digitalen Welt), S. 1–12. doi.org/10.21240/mpaed/39/2020.12.01.X.
- Verständig, Dan (2021): Critical Data Studies and Data Science in Higher Education. In: Seminar.net, 17 (2), S. 1–20. doi.org/10.7577/seminar.4397.

- Verständig, Dan (2022): Access Denied: Bildung im digitalen Zeitalter zwischen Offenheit und Ungleichheit. In: Zulaica y Mugica, Miguel/Zehbe, Klaus-Christian (Hrsg.): Rhetoriken des Digitalen. Adressierungen an die Pädagogik. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 21–42.
- Verständig, Dan/Holze, Jens/Biermann, Ralf (2016): Von der Bildung zur Medienbildung. Festschrift für Winfried Marotzki. Wiesbaden: Springer VS.
- Verständig, Dan/Kast, Christina/Stricker, Janne/Nürnberg, Andreas (2022): Algorithmen und Autonomie. Interdisziplinäre Perspektiven auf das Verhältnis von Selbstbestimmung und Datenpraktiken. Opladen/Berlin/Toronto: Verlag Barbara Budrich. doi.org/10.3224/84742520.
- Verständig, Dan/Stricker, Janne (2022): Berechnete Unbestimmtheit: Paradoxien der Freiheit im digitalen Zeitalter. In: Verständig, Dan/Kast, Christina/Stricker, Janne/Nürnberg, Andreas (Hrsg.): Algorithmen und Autonomie. Interdisziplinäre Perspektiven auf das Verhältnis von Selbstbestimmung und Datenpraktiken. Opladen/Berlin/Toronto: Verlag Barbara Budrich, S. 25–47.
- Viehhauser, Gabriel (2015): Historische Stilometrie? Methodische Vorschläge für eine Annäherung textanalytischer Zugänge an die mediävistische Textualitätsdebatte. In: Baum, Constanze/Stäcker, Thomas (Hrsg.): Grenzen und Möglichkeiten der Digital Humanities. Zeitschrift für digitale Geisteswissenschaften (Sonderband 1). Wolfenbüttel: Forschungsverbund MWW / Herzog August Bibliothek, text/html Format. zfdg.de/sb001_009.
- Viehhauser, Gabriel (2018): Digital Humanities ohne Computer? Alte und neue quantifizierende Zugänge zum mittelhochdeutschen Tagelied. In: Bernhart, Toni/Willand, Marcus/Richter, Sandra/Albrecht, Andrea (Hrsg.): Quantitative Ansätze in den Literatur- und Geisteswissenschaften. Systematische und historische Perspektiven. Berlin/Boston: De Gruyter, S. 173–203.
- Vogel, Matthias (2001): Medien der Vernunft. Eine Theorie des Geistes und der Rationalität auf Grundlage einer Theorie der Medien. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Volbers, Jörg (2015): Theorie und Praxis im Pragmatismus und in der Praxistheorie. In: Alkemeyer, Thomas/Schürmann, Volker/Volbers, Jörg (Hrsg.): Praxis denken. Konzepte und Kritik. Wiesbaden: Springer VS, S. 193–214.
- von Weizsäcker, Carl Friedrich (1993): Die Einheit der Natur. Studien. München: Hanser.
- Vossenkuhl, Wilhelm (2006): Einführung: Kreativität und Einbildungskraft. In: Abel, Günter (Hrsg.): Kreativität. XX. Deutscher Kongress für Philosophie, 26.–30. September 2005 an der Technischen Universität Berlin: Kolloquienbeiträge. Hamburg: Felix Meiner Verlag, S. 447–449.
- Wadephul, Christian (2016): Führt Big Data zur abduktiven Wende in den Wissenschaften? In: Berliner Debatte Initial, 27 (4), S. 35–49.
- Wadephul, Christian (2020): Sind Heuristiken die besseren Algorithmen? Ein Antwortversuch am Beispiel des Traveling Salesman Problem (TSP). In: Wiegerling, Klaus/Nerurkar, Michael/Wadephul, Christian (Hrsg.): Datafizierung und Big Data. Ethische, Anthropologische und Wissenschaftstheoretische Perspektiven. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 55–93.
- Wagenschein, Martin (1999): Verstehen lehren. Genetisch – Sokratisch – Exemplarisch. Weinheim: Beltz.
- Wagner, Gerald (2018): Im Zoo des Sozialen. In: FAZ.NET. faz.net/aktuell/karriere-hochschule/digitale-soziologie-15579108.html?printPagedArticle=true#void.
- Wang, Jue/Lisanza, Sidney/Jürgens, David/Tischer, Doug/Watson, Joseph L./Castro, Karla M./Ragotte, Robert/Saragovi, Amijai/Milles, Lukas F./Baek, Minkyung/Anishchenko, Ivan/Yang, Wei/Hicks, Derrick R./Expòsit, Marc/Schlüchthaerle, Thomas/Chun, Jung-Ho/Dauparas, Justas/Bennett, Nathaniel/Wicky, Basile I. M./Muenks, Andrew/DiMaio, Frank/Correia, Bruno/Ovchinnikov, Sergey/Baker, David (2022): Scaffolding protein functional sites using deep learning. In: Science, 377 (6604), S. 387–394. science.org/doi/10.1126/science.abn2100.
- Wardrip-Fruin, Noah (2009): Expressive Processing. Digital Fictions, Computer Games, and Software Studies. Cambridge, Mass: MIT Press.

- Watson, Joseph L./Juergens, David/Bennett, Nathaniel R./Trippe, Brian L./Yim, Jason/Eisenach, Helen E./Ahern, Woody/Borst, Andrew J./Ragotte, Robert J./Milles, Lukas F./Wicky, Basile I. M./Hanikel, Nikita/Pellock, Samuel J./Courbet, Alexis/Sheffler, William/Wang, Jue/Venkatesh, Preetham/Sappington, Isaac/Torres, Susana Vázquez/Lauko, Anna/Bortoli, Valentin de/Mathieu, Emile/Ovchinnikov, Sergey/Barzilay, Regina/Jaakkola, Tommi S./DiMaio, Frank/Baek, Minkyung/Baker, David (2023): De novo design of protein structure and function with RFdiffusion. In: Nature, 620, S. 1089–1100. doi.org/10.1038/s41586-023-06415-8.
- Weber, Jutta (2003): Umkämpfte Bedeutungen. Naturkonzepte im Zeitalter der Technoscience. Frankfurt am Main: Cambridge University Press.
- Weber, Max (2005): Wirtschaft und Gesellschaft. Grundriss der verstehenden Soziologie. Frankfurt am Main/Affoltern am Albis: Zweitausendeins.
- Weber-Stein, Florian/Heidenreich, Felix (2023): Digitalisierung als Pharmakon. Medienbildung unter Bedingungen der Post-Souveränität. In: Ludwigsburger Beiträge zur Mediendidaktik – LBzM, 23, S. 1–15. doi.org/10.21240/lbzm/23/05.
- Weinberger, David (2011): Too Big to Know. Rethinking Knowledge Now That the Facts Aren't the Facts, Experts Are Everywhere, and the Smartest Person in the Room Is the Room. New York: Basic Books.
- Weinberger, Steven (2017): Our Machines Now Have Knowledge We'll Never Understand. In: Wired (18 Apr 2017). wired.com/story/our-machines-now-have-knowledge-well-never-understand.
- Weltmaschine (o. J.): LHC Computing Grid. weltmaschine.de/cern_und_lhc/experimente_am_lhc/lhc_computing_grid.
- Wenger, Etienne (2008): Communities of Practice. Learning, Meaning, and Identity. Cambridge: Cambridge University Press.
- Whitehead, Alfred North/Russell, Bertrand (1927): Principia mathematica. Cambridge Eng./New York: Cambridge University Press.
- Wiegerling, Klaus/Nerurkar, Michael/Wadephul, Christian (2020): Datafizierung und Big Data. Ethische, Anthropologische und Wissenschaftstheoretische Perspektiven. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Wiesing, Lambert (2012): Was sind Medien? In: Münker, Stefan/Roesler, Alexander (Hrsg.): Was ist ein Medium? Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 235–248.
- Wikipedia (2023): Lidar. de.wikipedia.org/wiki/Lidar.
- Wikipedia (2024a): Fourier-Transformation. de.wikipedia.org/wiki/Fourier-Transformation.
- Wikipedia (2024b): FTIR-Spektrometer. de.wikipedia.org/wiki/FTIR-Spektrometer.
- Wikipedia (2024c): Google Books. de.wikipedia.org/wiki/Google_Books.
- Wilkinson, Mark D./Dumontier, Michel/Aalbersberg, I. J.sbrand Jan/Appleton, Gabrielle/Axton, Myles/Baak, Arie/Blomberg, Niklas/Boiten, Jan-Willem/da Silva Santos, Luiz Bonino/Bourne, Philip E./Bouwman, Jildau/Brookes, Anthony J./Clark, Tim/Crosas, Mercè/Dillo, Ingrid/Dumon, Olivier/Edmunds, Scott/Evelo, Chris T./Finkers, Richard/Gonzalez-Beltran, Alejandra/Gray, Alasdair J. G./Groth, Paul/Goble, Carole/Grethe, Jeffrey S./Heringa, Jaap/Hoen, Peter A. C. 't Hooft, Rob/Kuhn, Tobias/Kok, Ruben/Kok, Joost/Lusher, Scott J./Martone, Maryann E./Mons, Albert/Packer, Abel L./Persson, Bengt/Rocca-Serra, Philippe/Roos, Marco/van Schaik, Rene/Sansone, Susanna-Assunta/Schultes, Erik/Sengstag, Thierry/Slater, Ted/Strawn, George/Swertz, Morris A./Thompson, Mark/van der Lei, Johan/van Mulligen, Erik/Velterop, Jan/Waagmeester, Andra/Wittenburg, Peter/Wolstencroft, Katherine/Zhao, Jun/Mons, Barend (2016): The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. In: Scientific Data, 3, S. 160018. doi.org/10.1038/sdata.2016.18.
- Wimmer, Michael (2014): Pädagogik als Wissenschaft des Unmöglichen. Bildungsphilosophische Interventionen. Paderborn: Ferdinand Schöningh.

- Wimmer, Michael/Reichenbach, Roland/Pongratz, Ludwig (2009): Vorwort. In: Wimmer, Michael/Reichenbach, Roland/Pongratz, Ludwig (Hrsg.): Medien, Technik und Bildung. Paderborn: Schöningh, S. 7–12.
- Winarsky, Hanne/Conde, Jorge/Bancel, Stephane (2020): The Machine that Made the Vaccine. Podcast „Raising Health“, EP 25, 18.12.2020. bio-eats-world.simplecast.com/episodes/moderna-covid-vaccine-mrna-technology-45xaNSr.
- Wing, Jeannette M. (2006): Computational Thinking. In: Communications of the ACM, 49 (3), S. 33–35.
- Wing, Jeannette M. (2008): Computational Thinking and Thinking about Computing. In: Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 366 (1881), S. 3717–3725. doi.org/10.1098/rsta.2008.0118.
- Winkler, Hartmut (1999): Rekursion. Über Programmierbarkeit, Wiederholung, Verdichtung und Schema. In: c't Magazin, 9, S. 234–240.
- Winkler, Hartmut (2015): Prozessieren. Die dritte, vernachlässigte Medienfunktion. Paderborn: Wilhelm Fink.
- Winkler, Hartmut (2018): Auflösen und Zersetzen von Bewusstheit. Nachtrag zur wissenschaftlichen und politischen Relevanz der Automatismen-Forschung. Paderborn: Wilhelm Fink.
- Winsberg, Eric B. (2010): Science in the Age of Computer Simulation. Chicago/London: University of Chicago Press.
- Wirth, Uwe (1995): Abduktion und ihre Anwendungen. In: Zeitschrift für Semiotik, 17 (3–4), S. 405–424.
- Wirth, Uwe (2003): Die Phantasie des Neuen als Abduktion. In: Deutsche Vierteljahrsschrift für Literaturwissenschaft und Geistesgeschichte, 77 (4), S. 591–618.
- Wirth, Uwe (2008): Vorüberlegungen zu einer Logik der Kulturforschung. In: Wirth, Uwe (Hrsg.): Kulturnissenschaft. Eine Auswahl grundlegender Texte. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 9–67.
- WissKI (o. J.): About WissKI. wiss-ki.eu/de.
- Witt, Ralf (1982): Das Verhältnis von Berufsbildung und Allgemeinbildung als Frage der didaktischen Transformation. Dargestellt an Beispielen aus dem Wirtschaftslehreunterricht der kaufmännischen Schulen. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 78 (10), S. 766–781.
- Wittgenstein, Ludwig (1984): Über Gewißheit (Werkausgabe Band 8). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Wolfram, Stephen (2002): A new Kind of Science. Champaign, Ill.: Wolfram Media.
- Wolfram, Stephen (2023): Das Geheimnis hinter ChatGPT. Wie die KI arbeitet und warum sie funktioniert. Frechen: mitp Verlags GmbH.
- Wulf, Christoph/Zirfas, Jörg (2005): Bild, Wahrnehmung und Phantasie. In: Wulf, Christoph/Zirfas, Jörg (Hrsg.): Ikonologie des Performativen. München: Fink, S. 7–32.
- X Help Center (o. J.): About X's APIs. help.twitter.com/en/rules-and-policies/x-api.
- zdf.de (2023): Wie das World Wide Web die Welt veränderte. zdf.de/nachrichten/digitales/world-wide-web-30-jahre-100.html.
- Zhang, He/Wu, Chuhao/Xie, Jingyi/Lyu, Yao/Cai, Jie/Carroll, John M. (2023): Redefining Qualitative Analysis in the AI Era: Utilizing ChatGPT for Efficient Thematic Analysis. arxiv.org/pdf/2309.10771.pdf.
- Ziegenbalg, Jochen/Ziegenbalg, Oliver/Ziegenbalg, Bernd (2016): Algorithmen von Hammurapi bis Gödel. Mit Beispielen aus den Computeralgebra systemen Mathematica und Maxima. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Zierer, Klaus (2017): Lernen 4.0. – Pädagogik vor Technik. Möglichkeiten und Grenzen einer Digitalisierung im Bildungsbereich. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Zillien, Nicole (2008): Die (Wieder-)Entdeckung der Medien – Das Affordanzkonzept in der Mediенsoziologie. In: Sociologia Internationalis, 46 (2), S. 161–181.
- Zimmerli, Walther Ch. (2010): Die Hermeneutik des Technischen Wissens und die Zukunft der Bildung. In: Kornwachs, Klaus (Hrsg.): Technologisches Wissen. Entstehung, Methoden, Strukturen. Berlin/Heidelberg: Springer, S. 121–136.

- Zimmerli, Walther Ch. (2021): Analog oder digital? Philosophieren nach dem Ende der Philosophie. In: Hauck-Thum, Uta/Noller, Jörg (Hrsg.): Was ist Digitalität? Philosophische und pädagogische Perspektiven. Berlin/Heidelberg: J.B. Metzler, S. 9–33.
- Zuboff, Shoshana (2015): Big other: Surveillance Capitalism and the Prospects of an Information Civilization. In: Journal of Information Technology, 30 (1), S. 75–89.
- Zuboff, Shoshana (2018): Das Zeitalter des Überwachungskapitalismus. Frankfurt/New York: Campus Verlag.
- Zulaica y Mugica, Miguel/Zehbe, Klaus-Christian (2022): Rhetoriken des Digitalen. Adressierungen an Die Pädagogik. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Zuse, Konrad (2010): Der Computer – Mein Lebenswerk. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Zweig, Katharina A. (2019): Ein Algorithmus hat kein Taktgefühl. Wo künstliche Intelligenz sich irrt, warum uns das betrifft und was wir dagegen tun können. München: Heyne.
- Zwirn, Herve (2013): Computational Irreducibility and Computational Analogy. arxiv.org/pdf/1304.5247.