

Von allopoietischen zu autopoietischen algorithmischen Systemen

Überlegungen zur Eigenlogik der operationalen Schließung algorithmischer Systeme

Jan Tobias Fuhrmann

Abstract: *Der Beitrag geht davon aus, dass der Erfolg aktueller Künstlicher Intelligenz darauf beruht, dass sie zu einem konstitutiven Außen der Kommunikation avanciert ist. Dies ist gelungen, indem von allopoietischen auf autopoietische algorithmische Systeme umgestellt wurde. Kennzeichnend für diese Umstellung ist, dass die Regeln einer sinnhaften Verarbeitung von Kommunikation nicht mehr wie bei der symbolverarbeitenden KI über Algorithmen implementiert, sondern durch eine statistische Auswertung von Daten emuliert werden. Dabei schließen sich die algorithmischen Systeme autopoietisch, indem sie neben der Reproduktion der Permutation elektronischer Schaltzustände die Bedingungen der Permutation durch ein historisches Unruhepotenzial von Daten variieren. Das zeigt sich beispielsweise daran, wie Schaltungen in künstlichen neuronalen Netzen gewichtet werden. Um das zu zeigen, wird in einem ersten Schritt plausibilisiert, dass autopoietische algorithmische Systeme nicht in die Autopoiesis sozialer Systeme eingebaut werden, sondern als deren konstitutives Außen äquivalent zu psychischen Systemen zu behandeln sind. Im darauffolgenden Schritt werden die Bedingungen geklärt, die es gestatten, von einer Autopoiesis algorithmischer Systeme zu sprechen. In einem dritten Schritt soll sodann danach gefragt werden, wie Kommunikation in die Logik der Autopoiesis algorithmischer Systeme übersetzt wird. Abschließend wird das Konzept der Duplexstruktur von Kommunikation eingeführt, das es ermöglichen soll, Kommunikation sowohl als sinngenetischen Vollzug als auch als für algorithmische Systeme verarbeitbaren Impuls denken zu können.*

1. Einleitung

2022 verkündete Blake Lemoine, ein ehemaliger Mitarbeiter der KI-Forschungsabteilung von Google, er habe mit LaMDA, einem von Google entwickelten selbstlernenden System der Dialogführung in natürlicher Sprache (vgl. Thoppilan et al. 2022), über dessen Bewusstsein und dessen Angst vor einer Abschaltung gesprochen, und leitete daraus ab, die Künstliche Intelligenz (KI) habe ein Bewusstsein entwickelt (vgl. dazu den Chatverlauf bei Lemoine 2022). Das Erleben Lemoines basiert auf einer Verwechslung, die die Kommunikation mit dem sie konstituierenden System (LaMDA) in eins setzt, so als wäre das im Chatverlauf Geschriebene als 1:1-Repräsentation des operativen Vollzugs der KI zu deuten. Erst diese Verwechslung produziert ein Erleben für beteiligte psychische Systeme, durch das der KI eine Empfindsamkeit zugerechnet werden kann. Aus dem Erleben heraus wird dem algorithmischen System eine mit Bewusstsein bewährte Intelligenz nicht nur zugerechnet, sondern diese Zurechnung wird zugleich auch am eigenen Erleben der Interaktion als valide bestätigt.

Die Kommunikationssequenz unter Beteiligung von Lemoine und LaMDA konstituiert sich über zwei Systemtypen, nämlich über ein psychisches System, das im Medium Sinn zu operieren vermag, und ein algorithmisches System, das nicht in der Lage ist, im Medium Sinn zu operieren (vgl. dazu auch Fuhrmann 2020). Und dennoch gelingt es LaMDA, sinnhafte Kommunikationsereignisse zu konstituieren und eine längere Interaktionssequenz aufrechtzuerhalten. Für die Fortsetzung sozialer Systeme, in diesem Fall die Fortsetzung eines Interaktionssystems, durch algorithmische Systeme muss also danach gefragt werden, wie es diesen Systemen gelingt, eine hinreichende Dynamik zu erzeugen, um *reliable outputs* zu generieren, die als Kommunikation durch Kommunikation qualifiziert werden. Oder mit den Worten Dennetts (2021: 29) formuliert: Wie gelingt es einer algorithmischen »competence without comprehension«, die komplexe Problemlösungen in einfache, triviale Lösungsprozeduren zerlegt, Kommunikation derart zu replizieren und zu variieren, dass wie bei LaMDA Kommunikationsereignisse konstituiert werden, die als sinnvolle Fortsetzung erlebt werden?

Zur Beantwortung dieser Frage muss zunächst geklärt werden, wie algorithmische Systeme Daten verarbeiten, um kommunikative Anschlussfähigkeit zu produzieren. Das wird insbesondere dann relevant, wenn davon ausgegangen wird, dass spezifische Algorithmen, etwa die des Machine Learnings, der künstlichen neuronalen Netze und stochastischer Verfahren, autopoi-

sche Systeme konstituieren können. Diese Systemkonstitution, so die These, basiert darauf, dass autopoietische algorithmische Systeme durch systeminterne Zustandspermutationen die Bedingungen der Konstitution ihrer Operationen aus sich selbst heraus schaffen. Sie stellen dann nicht mehr allopoietische Systeme dar, die wie etwa die symbolverarbeitende KI als triviale Maschinen (vgl. von Foerster 1988: 21) einen Input gemäß den Anweisungen eines Algorithmus nach »logische[n] Schlussfolgerungsregelungen« (Ernst et al. 2019: 11f.) verarbeiten. Mit der Implementierung der Algorithmen des Machine Learnings findet eine Umstellung von einer allopoietischen zu einer autopoietischen Systemkonstitution statt, die insbesondere dadurch gekennzeichnet ist, dass Symbole nicht mehr über den Algorithmus, also die Vorschrift, wie Daten verarbeitet werden, auf eine sinnhafte Art und Weise regelhaft bearbeitet werden. Vielmehr werden über statistische Verfahren riesige Mengen an Daten verarbeitet und anstelle einer Sinnproduktion über die Verarbeitungsregel wird die durch Sinn produzierte Regelmäßigkeit in der Struktur der Daten detektiert. Statt wie in Searles (1980: 419) chinesischem Zimmer Symbole deduktiv über den Vollzug grammatikalischer Regeln zu verarbeiten, werden nun statistische Induktionen betrieben (vgl. Pasquinelli 2017). Während also allopoietische algorithmische Systeme durch die Prozedur der Verarbeitung selbst die Regeln dessen, was kommunikative Anschlüsse erfolgreich macht, auf einen jeweiligen Input anzuwenden versuchen, versucht die statistische Induktion den Input mit schon bestehenden Daten zu korrelieren und aus diesen Verarbeitungsregeln zu gewinnen. Eine solche Verarbeitung führt dazu, dass »die Inputs zum Spielball des Regelsystems selbst [werden], das sich mit jeder erneuten Eingabe selbst prüfen und bestätigen kann« (Koster 2022: 582), indem die verarbeiteten Symbole von ihren möglichen Bedeutungsgehalten entkoppelt werden und dadurch Bedeutung eliminiert wird.

Das System beginnt sich operational zu schließen, indem es durch die Datenverarbeitung seine eigenen Systemzustände, also konkrete Schaltzustände, permutiert und durch die Permutation wiederum Daten produziert, die in der weiteren Datenverarbeitung neue Systemzustände initiieren. Das System gewinnt so die Kapazität, sich durch die Operation der Veränderung von Schaltzuständen selbst fortzusetzen. Durch die Produktion von Daten, sei es durch Input, durch die Analyse von schon gespeicherten Daten oder die Erzeugung von Metadaten in der Trainingsphase, die auch interaktiv initiiert sein kann, indem Crowdworker Daten kategorisieren (vgl. Sheng/Zhang 2019), wird gleichsam eine Irritation, ein Impuls zur Fortsetzung des Systems aus der Umwelt des Systems eingeleitet.

Der Artikel verfolgt also die These, dass soziale Systeme es mit Systemen zu tun bekommen, die sie mitkonstituieren, ohne dabei im Medium Sinn operieren zu können. Dabei scheint es so zu sein, dass dies der KI umso besser gelingt, je weniger sie allopoietisch über symbolverarbeitende Regel operiert. Stattdessen wird KI über die Auswertung riesiger Datenmengen (Big Data) erfolgreich. Um zu klären, wie es algorithmischen Systemen gelingt, Kommunikation (mit) zu konstituieren, wird in einem ersten Schritt gezeigt, dass KI dann erfolgreich wird, wenn sie als Konstitutionsbedingung der Kommunikation unsichtbar bleibt, also die Kommunikation derart fortgesetzt wird, dass nicht thematisiert wird, dass das einzelne Kommunikationsereignis durch ein algorithmisches System konstituiert wurde. Dabei wird angenommen, dass der kommunikative Erfolg der KI darin besteht, den Verweis auf Intelligenz selbst verschwinden zu lassen. Entsprechend wird in einem zweiten Schritt geklärt, welche Bedingungen algorithmische Systeme erfüllen müssen, um sich autopoietisch schließen zu können. Dazu wird die Unterscheidung zwischen allopoietischen und autopoietischen Systemen eingeführt. Kann die KI, die noch auf die Verarbeitung von Symbolen kapriziert ist, als Vollzug allopoietischer Systeme verstanden werden, operieren künstliche neuronale Netze und stochastische Verfahren des Machine Learnings als autopoietische Systeme. Im dritten Schritt wird dann expliziert, dass algorithmische Systeme zur Erfüllung der Autopoiesis ein doppeltes Unruhepotenzial auf der Ebene der elektronischen Verschaltungen, die die Operationen algorithmischer Systeme darstellen, konstituieren müssen. Damit folgt die Argumentation der Konzeption Luhmanns (2008a: 28), dass ein System sich sowohl aus seinen Operationen, die nur eines Typs sein können, reproduzieren als auch historische Zustände, die jeweils einmalig sind, generieren muss. Im vierten Schritt wird danach gefragt, wie autopoietisch operierende algorithmische Systeme die Kapazitäten dafür entwickeln, Kommunikation so zu verarbeiten, dass sie *reliable outputs* zur Konstitution weiterer Kommunikationsereignisse generieren können. Im letzten Schritt wird Kommunikation als eine Duplexstruktur diskutiert, die sowohl ein sinnhaftes Auslesen durch psychische Systeme ermöglicht als auch eine ungleiche Häufigkeitsverteilung von Zeichen produziert. Diese Duplexstruktur ist es, die es möglich macht, dass algorithmische Systeme sinnhaft auslesbare Kommunikationsereignisse konstituieren können, ohne selbst im Medium Sinn zu operieren. Ziel der Ausführungen ist es also, zu klären, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, um von algorithmischen Systemen auszugehen zu können, die sich, statt allopoietisch zu operieren, als autopoietische Systeme konstituieren.

2. Zur Intelligenzfunktion der KI

In dem 1995 erschienenen Text *Über Verteilung und Funktion der Intelligenz im System* schlägt Dirk Baecker (2008) den Begriff der Intelligenzfunktion vor. Damit bezeichnet Baecker einen Wiedereintritt der Unterscheidung zwischen Selbst- und Fremdreferenz auf der Seite der Selbstreferenz, durch den diese Unterscheidung als Reflexionsschema im System operational verfügbar wird (vgl. ebd.: 61f.). Demnach ist Intelligenz dann gegeben, wenn in einem System die Selbstreferenz eines Systems, mithin die Bezeichnung des Systems durch sich selbst, von einer Fremdreferenz unterschieden wird. Dabei merkt Baecker mit Verweis auf Douglas Hofstadter an: »Die künstliche Intelligenz positioniert sich genau dort, wo ›etwas im System herausspringt und auf das System einwirkt, als wirke es von außerhalb‹. Sie macht sich zur Adresse von Fremdreferenz, zum Lieferanten jenes Wissens, auf das nur ein um sich selbst wissendes Nichtwissen schließen kann. Sie wird zu einem Reflexionspotential, das in dem Maße, in dem es auf die Formulierung jeder eigenen Selbstreferenz verzichtet, Zugang zu den rekursiven Schleifen eines sozialen Systems gewinnt und aus diesen Rekursionen produziert und reproduziert wird.« (Ebd.: 63) KI könne da auf ein soziales System einwirken, wo sie »genügend Eigenkomplexität besitzt, um interne Verweisungsmöglichkeiten selbstständig und innovativ wahrzunehmen« (ebd.). Sie wird gleichsam dadurch zum Reflexionspotenzial für die Kommunikation selbst, weil sie einen Input für das soziale System liefert, der vom System als Fremdreferenz eingeordnet werden kann. KI hält entsprechend Kommunikation am Laufen, ohne die Intelligenzfunktion als reflexives Schema von Selbst-/Fremdreferenz selbst operativ zu realisieren, indem sie Kommunikation nutzt, um ihre eigenen Operationen aus deren Verarbeitung zu reproduzieren, und dadurch Kommunikation mit Varianz versorgt, die weitere kommunikative Anschlüsse evozieren kann.

Die hier kurz referierte und inzwischen schon fast 30 Jahre alte Textstelle erscheint deswegen interessant, weil das Problem der KI auf eine ambivalente Weise zu lösen gesucht wird. Die Intelligenzfunktion wird an den Werten der Reflexivität, der Rekursivität und der Paradoxieentfaltung fixiert und auf sinngenetisch operierende Systeme bezogen, die die Kapazität aufweisen, ihre Selbstreferenz in Relation zur Fremdreferenz setzen zu können. Im Moment der Reflexion, durch die so etwas wie ein Selbstbewusstsein des Systems als Kalkül von Selbst- und Fremdreferenz artikulierbar wird, wird diese systemtheoretische Gewissheit sogleich wieder gebrochen, indem KI Zugriff auf das soziale System gewinnt, und dies umso mehr, je weni-

ger sie ihre Selbstreferenz systemintern reflektiert. KI produziert lediglich Referenz, also eine eigene Operation im Modus des Wechsels differenter elektronischer Verschaltungen, und führt ihre Outputs in die Kommunikation als eine Fremdreferenzen ein, ohne die artikulierte Differenz zwischen Selbst- und Fremdreferenz in ihrer systeminternen Verweisung selbst nachzuvollziehen. Algorithmische Systeme sind dann weniger dazu aufgefordert, reflexive Ich-Artikulationen als Bezeichnung eines Selbst zu vollziehen, als vielmehr Kommunikationen zu produzieren, an die weitere Kommunikationen anschließen können. Ich-Artikulationen, wie sie von Sprachassistenzen produziert werden, sind keinesfalls als systeminterner Gebrauch einer Selbst-/Fremdreferenz-Unterscheidung zu deuten (vgl. Lang 2020: 7f.). Vielmehr verweist das *Ich* als Bezeichnung einer Sprecher*innenrolle auf eine Pragmatik und Konvention, ohne dabei die Eigenschaften der Sprecher*in repräsentieren zu müssen (vgl. Helmbrecht 2004: 23f.). Gerade das Ausbleiben des Prüfens dessen, was es bedeutet, wenn die Sprachassistentz ein *Ich* artikuliert, kann als Akzeptanz der Leistung aufgefasst werden, anschlussfähige Kommunikation zu konstituieren. Entsprechend kann, wie im Erleben Lemoines zu sehen ist, die kommunikative Artikulation eines Ich-Bewusstseins mit der Funktion der Konstitution dieser Artikulation verwechselt werden. Das Ich markiert statt eines Bewusstseins vorerst eine sprachliche Pragmatik, mittels derer das outputgenerierende System, in diesem Fall das algorithmische System, kommunikativ adressierbar gemacht wird. In diesem Sinne dient eine Ansprache der Sprachassistentz wie *Hey Google*, *Hey Alexa* oder *Hey Siri* dem System als Triggerphrase, um eine Prozedur der Sprachanalyse zu starten. Gleichsam signalisiert die Pragmatik der Ich-Artikulation beteiligten psychischen Systemen, dass die Sprachassistentz responsiv gegenüber der Kommunikation gesetzt wurde, also zu erwarten ist, dass die Sprachassistentz auf die eigene Artikulation antworten wird. Das bedeutet, dass KI dann erfolgreich wird, wenn sie in der Kommunikation Kommunikationsereignisse konstituiert, die vom Verweis auf das systemische Selbst der KI entkoppelt werden können. Die KI wird damit zum Produzenten einer artikulierten Selbstreferenz, die im Falle von LaMDA auch auf eine Fremdreferenz – die Angst, abgeschaltet zu werden – bezogen sein kann. Dies markiert aber nicht die Leistung der KI, sich selbst bewusst zu werden, sondern den Effekt der Kommunikation, eine Selbst-/Fremdreferenz-Unterscheidung artikulierbar werden zu lassen. Damit wird sogleich auf eine etwas umständliche Weise Turings Imitation Game (Wiener 1990: 93ff.) implizit reformuliert. KI stellt sich dann ein, wenn in der Kommunikation nicht mehr zwischen Mensch und Maschine unterschieden

wird. Mit dem Computer, so könnte mit Luhmann (1998: 117f.) hinzugefügt werden, tritt nun eine »unsichtbare Maschine« als neue Konstitutionsmöglichkeit von Kommunikation auf. Für die Anschlussfähigkeit wäre, so die hier entwickelte These, eine Invisibilisierung des die Kommunikation konstituierenden Systems als Bedingung zu benennen. Denn die Verarbeitung der Kommunikation wird in Kommunikation nicht transparent gemacht (vgl. Kaminski 2020: 153), so, wie das auch für die Operabilität psychischer Systeme gilt (vgl. Luhmann 2008b: 22f.; 2017: 104ff.), und kann lediglich als Thema kommunikativ wieder eingefangen werden.

Der von Baecker artikulierte Zugang algorithmischer Systeme zu den rekursiven Schleifen sozialer Systeme, der eine Art Eingriff durch die KI suggeriert, so als wäre sie in die Autopoiesis sozialer Systeme eingebaut (vgl. Nassehi 2019: 259f.), lässt sich nun präziser fassen als Inklusion autopoietischer algorithmischer Systeme in Kommunikation (zum Begriff der Inklusion vgl. Luhmann 1989: 162). Denn ihre Leistung besteht darin, ihre Eigenkomplexität für die Bildung des sozialen Systems bereitzustellen, ohne Teil des sozialen Systems zu werden. Algorithmische Systeme können dann analog zu psychischen Systemen an der Konstitution sozialer Systeme beteiligt sein. Sie werden insofern inkludiert, als sie entsprechende operationale Kapazitäten bereithalten und dadurch die Emergenz sozialer Systeme befeuern. Entsprechend treten algorithmische Systeme als ein Äußeres der Kommunikation auf, das Kommunikation in ihre Eigenlogik übersetzen muss.

Für Nassehi (2019: 249f.) hingegen kann von handelnden und erlebenden Algorithmen nur ausgegangen werden, wenn Handeln und Erleben durch Zurechnung entstehen. So werden Roboter und Bots inzwischen als elektronische Personen anerkannt, die im Rechtssystem als juristische Personen behandelt werden und für Schäden haftbar zu machen sind (vgl. Teubner 2018: 160f.). So erwerben Trading-Algorithmen Eigentum, stoßen es wieder ab, legen Konten an und verwalten sie. Im Akt des Tradings erfolgt eine Zahlung, die keiner Thematisierung der Zurechnung von Handlung und Erleben bedarf. Folgt man Nassehi, verlieren sie dadurch ihren Akteursstatus und können deshalb als in die Autopoiesis des sozialen Systems der Wirtschaft eingebaut interpretiert werden. Wird hingegen angenommen, dass autopoietische algorithmische Systeme als konstitutives Außen auftreten, also in die Fortsetzung sozialer Systeme inkludiert sind, wird ihre Operabilität intransparent für das soziale System und bleibt auch dann relevant, wenn ihnen kein Handeln oder Erleben zugerechnet wird. So werden in Trading-Algorithmen Rechenheuristiken eingebaut, die es ermöglichen sollen, die Effekte der eigenen Kauforder auf

das Geschehens an der Börse zu berechnen. Vollautomatisierte Systeme können, je sensibler sie auf die Volatilität der Börse und die Effekte der eigenen Kauf- bzw. Verkaufsoorder bezogen sind, die Volatilität verstärken und werden dadurch störanfällig. Angesichts dessen werden permanent menschliche Trader*innen eingesetzt, die die Transaktionen der Algorithmen überwachen und beurteilen, ob das Agieren eines Algorithmus als sinnvoll bewertet werden kann (vgl. Wansleben 2012: 244ff.). Die Zurechnung von Sinn erfolgt erst in einem sich der konkreten Transaktion entziehenden Nachtrag, der gegebenenfalls zur Intervention der menschlichen Trader*in führt. Das algorithmische System konstituiert von außen eine Operation (Kauf- bzw. Verkaufsoorder) im Inneren des sozialen Systems (Börse) und wird wiederum von außen (Trader*in) darauf kontrolliert, ob es sich in selbstproduzierten Feedbackschleifen festfährt – Feedbackschleifen, die zum Kollaps führen können, wenn verschiedene algorithmische Systeme zu konsonieren beginnen (historische Beispiele finden sich bei Miyazaki 2017). Wird dieser Fall verallgemeinert, dann treten algorithmische Systeme für Kommunikation als ein konstitutives Außen, als eine eigene Systemqualität auf, die nicht in das soziale System eingebaut ist, sondern dieses mit anderen konstituiert. Dieses Moment ist nicht als Verwechslung von KI mit *artificial communication* zu markieren, so als handelte es sich nicht um Kommunikation, sondern nur um deren Emulation als eine »projection of the contingency of its user« (Esposito 2022: 10) bzw. die Reflexion der Perspektiven anderer Beobachter. Vielmehr handelt es sich um eine spezifische Leistung der Intelligenzfunktion selbst, die semantisch darin bewährt wird, dass der KI hin und wieder Intelligenz zugerechnet wird. Die Kapazitäten zur Aufrechterhaltung ihrer Konstitutionsleistung, so die These, können algorithmische Systeme nur gewinnen, wenn sie sich nicht als allopoietische Systeme, die sich als technische Infrastruktur in das soziale System einbauen lassen, sondern als autopoietische Systeme konstituieren.

3. Autopoietische algorithmische Systeme

Der Begriff der Autopoiesis verweist auf Systeme, die durch den Vollzug ihrer Operationen in der Lage sind, sich selbst zu reproduzieren. Für soziale Systeme sind diese Operationen Kommunikationen, für psychische Systeme Kognitionen, was sinnliches Wahrnehmen und Denken einschließt (vgl. Luhmann 2008a: 30f.). Algorithmische Systeme operieren in Form von Permutationen elektronischer Schaltzustände, durch die weitere elektronische

Schaltzustände produziert werden. Um von einem autopoietischen System sprechen zu können, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein. Die erste besteht darin, »daß Operationen aneinander anschließen und damit eine Kontinuität des Operierens herstellen« (ebd.: 28), wodurch das System von seiner Umwelt unterscheidbar wird. Die zweite Bedingung besteht darin, dass das Operieren zu historischen Zuständen des Systems führt, also zu einmaligen Zuständen, in der Weise, dass die jeweilige Selektion zu Variationen führt, das System sich also nicht in der Wiederholung der gleichen Operation leerläuft (vgl. ebd.). Diese beiden Momente markieren ein doppeltes Unruhepotenzial des autopoietischen Systems, durch das es sich so weit selbst irritiert, dass es selbstreproduktiv zu operieren beginnt.

Die System/Umwelt-Grenze des algorithmischen Systems wird bestimmt durch die Implementierung von Vorgaben, die festlegen, welche Operationen in welcher Reihenfolge ausgeführt werden sollen und wie diese aufeinander bezogen sind und sich gegenseitig mit Inputs versorgen. Dementsprechend sind algorithmische Systeme nicht mit Computern gleichzusetzen, weil jene als Medium der Kapazität für die spezifisch durch einen Algorithmus kombinierten Schaltungen erst durch das algorithmische System in eine operationale Form gebracht werden (zur Unterscheidung zwischen Medium und Form vgl. Fuchs 2015: 25–30), die es gestattet, eine Autopoiesis durch die Implementierung eines systeminternen Unruhepotenzials hervorzubringen.

Autopoiesis markiert dabei keine Autarkie in dem Sinne, dass das System seine Operationen in völliger Unabhängigkeit von seiner Umwelt vollziehen könnte. Vielmehr bezieht sich der Begriff auf ein System, das autonom operiert, indem es an seine eigenen Operationen weitere Operationen anschließt und dabei die Bedingungen mitproduziert, unter denen die Operationen abgeschlossen werden können. Entsprechend schließt sich das System operativ, bleibt aber offen für Irritationen, die eine notwendige Voraussetzung für die Konstitution der jeweiligen Operationen sein können. Kommunikation setzt entsprechend eine dynamische Umwelt psychischer Systeme voraus, die als konstitutives Außen einen Noise produzieren, den Kommunikation im Kontext der jeweiligen Systemkomplexität und der jeweils gegenwärtigen Struktur in die Ordnung ihrer Operationen überführt (vgl. von Foerster 1999: 123; Dupuy 2015: 5). Psychische Systeme treten mit sozialen Systemen entsprechend in eine konditionierte Koproduktion ein (vgl. Fuchs 2002), ohne dabei die Autonomie des jeweils anderen Systems zu destruieren – ganz im Gegenteil ist es diese gegenseitige Irritation, durch die sie sich am Laufen halten. Analog dazu verhalten sich algorithmische Systeme, die im Fall einer Autopoiesis ei-

ne hier noch näher zu beschreibende Autonomie gewinnen. Auch sie setzen ein sie konstituierendes Außen voraus (vgl. Fuhrmann 2019: 266, Fn. 722), mit dem sie in konditionierte Koproduktion treten können. Das ist Kommunikation.

Entscheidend ist also nicht, ob algorithmische Systeme autark operieren, so als wären sie hermetisch abgeschlossen von ihrer Umwelt und würden eine nur aus sich selbst heraus stimulierte Operabilität etablieren, sondern dass sie ein doppeltes Unruhepotenzial mobilisieren, durch das sie in eine konditionierte Koproduktion mit ihrer Umwelt treten können. Der temporäre Stillstand von algorithmischen Systemen in dem Moment, in dem kein Input mehr erfolgt und alle Prozeduren beendet wurden, diskreditiert deshalb nicht die These der autopoietischen Schließung algorithmischer Systeme. Genauso wie Kommunikation nicht mehr operativ konstituiert werden kann, wenn ein Interaktionssystem abbricht, weil eine gegenseitige Wahrnehmung der beteiligten psychischen Systeme nicht mehr möglich ist, da etwa alle anwesenden Personen den Raum verlassen haben, also nicht mehr anwesend sind (vgl. Kieserling 1999: 110), setzen autopoietische algorithmische Systeme weitere Systeme in ihrer Umwelt voraus, um so weit irritiert zu werden, dass ihre systemeigenen Operationen nicht leerlaufen. Um die Autopoiesis algorithmischer Systeme beschreiben zu können, ist es also relevant, ein doppeltes Unruhepotenzial als Verarbeitung sie konstituierender Kommunikation zu identifizieren.

Die Operation algorithmischer Systeme wird an dieser Stelle mit der Permutation von materiell in Transistoren implementierten elektronischen Schaltzuständen assoziiert. Die jeweiligen Zustände verhalten sich diskret zueinander (vgl. Steiglitz 2019). Das heißt, algorithmische Systeme sind als Implementierung und Vollzug der Ansteuerung spezifischer Schaltungen aufzufassen, deren Operabilität darin besteht, gemäß den Schaltungen Schaltzustände zu permutieren. Berechnungen werden durch geschickte Kombinatorik von Schaltelementen vollzogen. Die theoretische Entscheidung, die Operation algorithmischer Systeme nicht an der Berechnung, sondern an der Permutation von Schaltzuständen festzumachen, lässt sich daran plausibilisieren, dass die durch die Vorschrift festgelegten Befehle von Algorithmen nur dann prozediert werden, wenn sie in Schaltkreisen repräsentiert werden. Auch künstliche neuronale Netze basieren zumeist nicht allein auf der Hardware, sondern müssen in der Rechnerarchitektur simuliert werden, also von der Software in eine durch die Hardware prozedierbare Befehlsabfolge transponiert werden (vgl. Rojas 1993: 399f.). Das algorithmische System nutzt den Computer als Medium dafür, dass über die Implementierung der spezifischen Sequenz der Ansteuerung von Schaltungen Operationen

als Permutation von Schaltzuständen ausgeführt werden können. Programmcodes höherer Programmiersprachen müssen entsprechend vom Compiler übersetzt und vom Interpreter in einen Schaltzustand überführt werden. Das heißt, dass eine Übersetzung in boolesche Algebra erfolgen muss, die es ermöglicht, über die Ansteuerung der logischen Schaltelemente UND, ODER, NICHT Berechnungen und Verrechnungen zu vollziehen.

Über die boolesche Algebra fällt das Berechnen und Verrechnen von Inputs mit der Permutation von Schaltzuständen logischer Schaltungen zusammen. Denn die logischen Schaltungen stellen ein räumliches Prinzip dar, das bei UND dann einen Impuls weitergibt, wenn im Input eine Gleichzeitigkeit aller Impulse gegeben ist, wohingegen bei ODER nur ein Impuls gegeben sein muss und die NICHT-Schaltung den Impuls des Inputs im Output invertiert. Die dabei geschalteten logischen Schaltkreise lassen sich so kombinieren, dass auch komplexe numerische Berechnungen wie die stochastischen und korrelativen Verfahren des Machine Learnings vollzogen werden können, indem die dafür notwendigen mathematischen Operationen (Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division) durch die spezifische Kombination von Schaltungen ausgeführt werden. Die Berechnung, etwa die für die Summenbildung statistischer Auswertungen notwendige Addition, beruht dann weniger auf einer Operation des Zählens, sondern auf einer Schaltung, die mittels UND und ODER Bitfolgen ausgibt, die aus der durch den jeweiligen Input bewirkten Permutation der Zustände der jeweiligen in Reihe geschalteten Schaltungen resultieren.

Allein der Vollzug der Permutation von Schaltungen reicht nicht aus, um ein algorithmisches System operativ zu schließen. Erst eine interne Irritabilität der Permutation von Schaltzuständen durch die bisherigen Zustände des Systems gestattet es, von Autopoiesis zu sprechen. Ohne Irritabilität handelt es sich um allopöietische Systeme, bei denen ein spezifischer Input zu einem spezifischen, immer wieder reproduzierbaren Output führt (zu dieser Unterscheidung vgl. Zeleny 1976: 13). Angesichts dessen ist es nicht die Abfolge vorab programmierter Operationen, die für die Autopoiesis algorithmischer Systeme konstitutiv ist, sondern es ist die Perpetuierung des Systems durch interne Rückkopplungen, durch die auf der Ebene der elektronischen Verschaltungen eine Dynamik entsteht, die bewirkt, dass das System seine Operationen aus sich selbst heraus immer weiter fortsetzt. Entsprechend weisen algorithmische Systeme, beispielsweise *Automated Decision Making Systems*, mindestens zwei Algorithmen auf: einen, durch den eine Bewertung erfolgt oder eine Prognose aufgestellt wird, und einen zweiten Algorithmus, der hinsichtlich des

Inputs des ersten Algorithmus nach spezifischen Parametern eine Entscheidung trifft (vgl. Zweig 2018: 12). Darunter fallen insbesondere künstliche neuronale Netze und stochastische Verfahren des Machine Learnings, mittels derer die jeweiligen Outputs von Schaltungen so miteinander verbunden sind, dass die Veränderung einer Schaltung innerhalb der Einheit eines Schaltkreises als Feedback geschaltet ist und/oder zwischen den einzelnen Einheiten von Schaltkreisen ein Feedback – also eine Rückkopplung, die das Auslösen eines Schaltzustandes durch einen anderen ermöglicht – in diese selbst eingeführt wird und als Permutationsbedingung der Schaltung rückkoppelnd wirkt (vgl. Brause 1991: 53f.).

Ein Vergleich von allopoietischen mit autopoietischen algorithmischen Systemen kann zeigen, inwiefern die Implementierung voneinander abweicht. ELIZA, ein Chatprogramm, das 1966 von Joseph Weizenbaum vorgestellt wurde, kann als ein allopoietisches algorithmisches System bezeichnet werden. Denn ELIZA ist so implementiert, dass nach einem User*innen-Input schrittweise eine Folge von Operationen abgearbeitet wird. Nach der Vollendung dieser Operationenfolge wird von ELIZA keine weitere Operation, also Permutation von Schaltzuständen, vollzogen, bis der nächste Input erfolgt. Die symbolorientierte KI-Forschung hatte versucht, mit allopoietischen Systemen für jeden möglichen Inputfall eine bestimmte Prozedur aufzurufen. Bei ELIZA wird etwa in einem Register, das einem Thesaurus ähnelt, nach äquivalenten Worten gesucht, um eine Variation der Eingabe generieren zu können. Ist im Register kein passender Eintrag zu finden, wird eine Auffangphrase ausgegeben (vgl. Storp 2002: 19). Allopoietische Systeme sind maßgeblich abhängig von einem äußeren Input, durch den die jeweiligen Prozeduren aufgerufen und als Permutation von Schaltzuständen vollzogen werden. Der dabei generierte Output dient dem System nicht dazu, weitere Schaltzustände zu permutieren. Autopoietische Systeme hingegen reproduzieren sich durch ihre eigenen Operationen. Das heißt, dass sie zwar inputsensitiv sein müssen, um auf Änderungen der Umwelt eingehen zu können. Jedoch fungiert der durch eine Prozedur generierte Output wiederum als systemeigener Input und produziert dadurch eine Historizität des Systems, die gleichsam auf einer Selbstordnung beruht, etwa mit Blick auf die spezifische Gewichtung der Neuronen eines künstlichen neuronalen Netzes. Diese Logik macht sich auch durch die Variation des Outputs bemerkbar. Bei LaMDA kann im Gegensatz zu ELIZA von einer Autopoiesis ausgegangen werden, weil der User*innen-Input zu einer Permutation der Schaltung im Prozess der Modellierung eines künstlichen neuronalen Netzes selbst führen

kann, indem im Abgleich mit bisherigen Schaltzuständen die Gewichtung einzelner Funktionen des gesamten Netzes variiert wird (vgl. Rojas 1993: 24f.) und so je neue historische Zustände produziert werden. Diese Funktionen werden in boolescher Algebra dargestellt (vgl. ebd.: 34ff.) und operativ über die Permutation von Schaltzuständen realisiert. Das zeigt sich etwa darin, wie LaMDA trainiert wurde, um sinnhafte Antworten hervorbringen zu können. So bewerteten die Crowdworker*innen im Rahmen der zweistufigen Trainingsphase die von LaMDA generierten Antworten zunächst im Hinblick darauf, ob sie Sinn ergaben (vgl. Thoppilan et al. 2022: 34), und sofern sie nicht als sinnvoll bewertet wurden, reformulierten sie in einem zweiten Schritt die Antworten und markierten zusätzlich, ob LaMDA bei der Antwortgenerierung weitere externe Textressourcen berücksichtigen sollte, um mehr kontextuale Bezüge herstellen zu können (vgl. ebd.: 8). Auf diese Weise kann ein algorithmisches System wie LaMDA in die Lage versetzt werden, sich autopoietisch zu schließen. So entstehen aus der durch jeweils differente Dateninputs bewirkten Permutation von Schaltzuständen und aus den jeweils spezifischen Topologien der Verschaltung des künstlichen neuronalen Netzes historisch einmalige Zustände des Systems.

Das zweite Unruhepotenzial ergibt sich (a) aus einem transitorischen Moment der elektronischen Schaltung und (b) aus einem zeitstabilen Speichermoment, durch das das System erst historische Zustände produzieren kann.

(a) Die transitorische Speicherung der jeweiligen Systemzustände als Output einer Berechnung in boolescher Algebra, die als Ausgangspunkt weiterer Operationen angesteuert wird, folgt dem Prinzip des Registers. Ein Zwischenspeichern von Schaltzuständen, um weiter rechnen zu können, erfolgt in einem Schaltkreis, der als Flipflop dadurch bedingt wird, ob der kurzzeitige Speicher durch Offenhalten oder Schließen eines Stromkreises durch weitere Operationen angesteuert und dadurch umgeschaltet wird (vgl. Stokes 2007: 1–17). Im Transistor lassen sich so kurzfristig Zustände speichern, die aber direkt wieder überschrieben werden, also durch Input eines anderen Zustands permutieren (vgl. Ernst 2018: 109f.). Mit der elektronischen Verschaltung lassen sich Zustände speichern, indem ein Zustand gehalten wird, das heißt, dass keine Permutation der Partialschaltung erfolgt. Eine solche Repräsentation von Zuständen in der Präsenz der Verschaltung des Systems produziert kein Gedächtnis in dem Sinne, dass eine Erinnerung an vorherige Zustände vollzogen wird. Algorithmische Systeme sind nicht imstande, das Gegenwärtige zum gegenwärtig Vergangenen in ein temporales Verhältnis zu setzen, wie es für das Gedächtnis eines Sinnsystems möglich ist, das Erinnerung auf Redun-

danz und die Varietät einer sinnhaften Kohärenz bezieht (vgl. Esposito 2002: 29f.). Vielmehr wird durch das Halten von Zuständen in Partialschaltungen einer übergeordneten größeren Schaltung eine räumliche Relation genutzt, um trotz der Bindung an diskrete Zustände und den Präsenzeffekt dessen, wie die jeweiligen Schaltungen geöffnet oder geschlossen kombiniert werden, vorherige Zustände in der aktuellen Schaltung verfügbar zu halten. Durch diese Halteoption in einer Partialschaltung kann so etwas wie ein Gedächtnis entzeitlicht und durch eine räumliche Organisation verräumlicht werden. Konrad Zuse (1969) bezeichnet rechnende Maschinen deshalb als *rechnenden Raum*. Im rechnenden Raum lassen sich Parallelrechnungen vollziehen, die die Schließung algorithmischer Systeme ermöglichen.

Durch die Parallelisierung der Permutationen von Schaltzuständen findet eine Steigerung der systeminternen Unruhe in der Weise statt, dass die Outputs verschiedener Schaltungen in einer Bitfolge zusammengeführt werden können, die als Input für weitere Verschaltungen dienen kann, wie es etwa bei einem Volladdierer der Fall ist, der bei der Berechnung eines Bits einen Übertrag, der wiederum die Berechnung der nächsten Bitstelle ermöglicht, erzeugt (vgl. Broy 1998: 318f.). Über die Bittiefe, also die Anzahl der von den Schaltungen ausgegebenen Outputs, lassen sich Zustandssequenzen der akuten Schaltungen auf die Sequenz des Outputs reduzieren und damit abspeichern, allein deswegen, weil nicht mehr die Schaltkreise mit ihren aktuellen Schaltzuständen gespeichert werden müssen, sondern es lediglich notwendig ist, die Abfolge binärer Bits zu speichern. Speichern kann so als eine Trivialisierung von Schaltungen aufgefasst werden – Informationen über den Input gehen dadurch verloren (vgl. Rojas 1993: 22).

(b) Das zweite Moment findet sich im Speichern von Daten. Dabei handelt es sich weniger um die Kulturtechnik des Schreibens als vielmehr um die Überführung einer spezifischen Schaltkombination in zur Speicherung vorgesehene Schaltkreise, bei denen es sich um einen »unveränderliche[n] Festwertspeicher« (Ernst 2018: 109) handelt, der eher als Archiv denn als Register fungiert. In diesem Speicher wird keine boolesche Algebra verrechnet, sondern lediglich gemäß dem Input eine Bitfolge permutiert. Dadurch wird die Datei in einer räumlichen Repräsentation zeitfest gemacht, solange die Schaltung des Speichermediums nicht permutiert wird. Daten können nun als Bitfolge in Form eines Inputs einen Schaltkreis erneut permutieren, und werden so jeweils durch Schaltungen selbst gegenwärtig verfügbar und unverfügbar gemacht (vgl. Oberschelp/Vossen 2006: 232, 407ff.). Indem Daten gespeichert und ausgelesen werden, also durch Verschaltung für den rechnenden Raum

als Input zur Verfügung stehen, produziert das System nicht nur die aktuelle Unruhe der sich jeweils mit Input gegenseitig versorgenden Schaltungen, sondern gewinnt aus den historischen Zuständen des Systems, die im Speichermedium zeitstabil verschaltet wurden, auch ein historisches Unruhepotenzial.

Die historischen Schaltzustände können als Daten bezeichnet werden, die dem System als Input dienen, sobald sie gelesen werden. Datenlesen heißt in diesem Fall, dass eine Bitfolge dem System dazu dient, seine Schaltzustände zu permutieren, womit die zweite Bedingung der Autopoiesis erfüllt ist. Die drei Modi der historischen Unruhe finden sich im Schreiben von Daten, das darin besteht, eine Bitfolge in einem Schaltzustand zu speichern, im Verrechnen von Daten, also dem Input mehrerer Daten als Bitfolge zur Permutation einer Schaltung, sowie im Lesen von Daten. Die Daten werden als Input in Form einer Bitfolge einem Schaltkreis verfügbar gemacht, perturbieren also den aktuellen Schaltzustand. Die derart produzierte Unruhe ist dabei nicht als permanenter Basisrumor des Systems zu verstehen, vielmehr geht es darum, dass das System immer wieder mit systeminternen Inputs versorgt wird, sodass die Permutationsbedingungen weiterer Operationen variiert werden. LaMDA ist dafür ein Beispiel, da durch das künstliche neuronale Netz eine Selbstorganisation der Verarbeitung der Inputs, also der Eingaben in den Chat, bewerkstelligt wird, mittels derer, je nach Eingabe, der Input ein historisches Unruhepotenzial durch Öffnung für externe Inputs von Wissensdatenbanken produziert. Das autopoietische algorithmische System gewinnt dadurch seine Autonomie, ohne autark gegenüber der es in Form eines Impulses triggernden konstitutiven Umwelt zu sein.

4. Die Übersetzung kommunikativer Temporalität in den rechnenden Raum

Wenn die Operabilität algorithmischer Systeme als räumliche Organisation je aktueller Schaltzustände aufgefasst wird, operiert das algorithmische System – egal, ob es sich um ein allopoietisches oder um ein autopoietisches handelt – insofern zeitlos, als zwar Zustände permutieren, also in der Zeit differieren, diese aber nicht relationiert werden, sondern diskret auf ihren Präsenzeffekt (vgl. Maskarinec 2010: 80f.) limitiert bleiben. Das System kennt immer nur seinen aktuellen Zustand. Kommunikation als Zeitproblem muss von algorithmischen Systemen folglich in ein Problem der Organisation des rechnenden Raums überführt werden – die Rede von der Topologie künstlicher neurona-

ler Netze verdeutlicht das. Konkret vollziehen tut sich diese Überführung, indem die Zeitlichkeit der Kommunikation in eine Repräsentation von Bitfolgen übersetzt wird, wodurch sie als Permutationsbedingung durch einen elektronischen Impuls räumlich verarbeitbar wird. Der vorherige Zustand, also Vergangenheit, wird eliminiert (vgl. Pias 2009: 265).

Algorithmische Systeme nutzen dabei ihre aktuelle Unruhe zur Mobilisierung des historischen Unruhepotenzials, indem sie Daten auslesen und die in diesem Zuge miteinander korrelierten Zeichen wiederum als Moment der Steigerung oder Schwächung der Korrelation ins Datenkorrelat einzuschreiben beginnen. Die algorithmische Übersetzung von Kommunikation greift auch auf schon produzierte Daten zurück. Das ist das Motiv des Data Minings als dreigliedriger Prozess der Übersetzung in Bits, der kohärenten Aggregation der Daten und ihrer Analyse in Form von Clustering, Assoziation und Korrelation (vgl. Hildebrandt 2011: 376). Was vom System als Input aufgegriffen wird, wird in der Datenverarbeitung manipuliert, produziert aber gleichsam jenes doppelte Unruhepotenzial, durch die die Autopoiesis des algorithmischen Systems aufrechterhalten werden kann. Je nach Implementierung können Rückkopplungen zur Dynamisierung der Gewichtung einzelner Parameter und Neuronen des Systems, die nichts anderes als logische Verschaltungen sind, führen, etwa durch das Verfahren der Backpropagation, bei dem Rückkopplungen eingebaut werden (vgl. Rojas 1993: 175–193), oder durch genetische Verfahren, bei denen Outputs zufälliger Variationen von Gewichtungen einzelner Neuronen mit vorgegebenen Gewichtungen abgeglichen werden (vgl. Brause 1991: 254).

Statt Temporalität besteht der relevante Operationsmodus für die Datenanalyse in der Berechnung von Häufigkeitsverteilungen. Die Häufigkeitsverteilung wird dabei nicht durch einen Abgleich verschiedener vorheriger Zustände des Systems bestimmt, so als protokollierte ein Beobachter die Systemzustände. Stattdessen muss sie in eine Schaltung übersetzt werden, die eine Berechnung der Häufigkeitsverteilung mittels boolescher Algebra ermöglicht. Die boolesche Algebra verweist auf binäre Tupel (Bits), die wiederum durch Konventionen des Lesens in arabische Ziffernfolgen übersetzt werden können. So wird die arabische Ziffer 0 in einer Bitfolge aus 0, die 1 in einer Bitfolge, deren erste Stelle zur 1 permutiert wird, die 2 in einer Bitfolge, bei der an zweiter Stelle die 1 permutiert wird, und die 3 in einer Bitfolge, bei der die beiden ersten Stellen mit einer 1 permutiert werden, repräsentiert. Bitfolgen wie 0001, 0010, 0011, hier bei einer Bittiefe von vier Bits, repräsentieren dann die Dezimalzahlen der arabischen Ziffern, müssen also übersetzt werden. Solche

Tupel können mit Spencer-Brown (1999) als Formen bezeichnet werden, die gemäß einer »nicht-nummerische Arithmetik« (ebd.: xxvi) kalkulierbar sind. Das Oszillieren zwischen den Werten 0 und 1 produziert durch Reihung von mehreren Tupeln Oszillationsmuster (vgl. ebd.: 54f.). Diese Muster sind nicht mit dem gleichzusetzen, was Nassehi (2019: 108f.) als die latenten Strukturen der Gesellschaft beschreibt, die durch Algorithmen und Datenform verdoppelt würden und damit auf die Digitalität der Gesellschaft selbst verweisen. Sie stellen stattdessen eine Kombination aktueller Schaltzustände dar, die in der Parallelität von Tupeln, verschaltet über Permutationen bei Abweichungen und Übereinstimmungen, jeweils differente Permutationen als Effekt zeitigen. Erst mittels Konventionen lassen sie sich in numerische Modelle übersetzen und werden so als Sinnzusammenhänge lesbar. In der Trainingsphase des Machine Learnings wird die Struktur der Verschaltung selbst permutiert, indem Oszillationsmuster so lange variiert werden, bis das System aus der vorherigen Mobilisierung des historischen Unruhepotenzials eine eigene Struktur gebildet hat und damit kommunikative Outputs generieren kann.

Führt ein Output eines solchen Systems in einem sozialen System zu Artikulationen in Form von Kommunikation, dynamisiert das algorithmische System seine Umwelt und steigert dadurch die Möglichkeiten zur Generierung weiterer Inputs für Kommunikation. Es tritt damit als ein konstitutives Außen des Kommunikationsereignisses auf und setzt so – äquivalent zu psychischen Systemen – die Autopoiesis eines sozialen Systems fort, durch dessen Autopoiesis wiederum eine Zustandspermutation des algorithmischen Systems stimuliert werden kann. Gelingt diese Dynamisierung, dann erscheint das algorithmische System unter Umständen als Akteur im System, dem Intelligenz zugeschrieben werden kann, weil es etwa wie im Fall von LaMDA in der Kommunikation eine Selbst-/Fremdreferenz-Unterscheidung artikuliert.

Gerade die algorithmische Spracherkennung als Pars pro Toto des Übersetzungsproblems von Kommunikation in elektronische Schaltzustände zeigt das an. Lange wurde versucht, die Regelmäßigkeit der Sprache, also ihre Grammatik, durch Implementierung in allopoietische Algorithmen zu übertragen und so ein regelbasiertes Verstehen zu simulieren (vgl. Beckermann 1988: 68). Modelle der künstlichen neuronalen Netze prozedieren hingegen Häufigkeitsanalysen von Zeichen und Zeichengruppen in der Nachbarschaft von anderen Zeichen und Fragmenten von Zeichenketten, um anhand dieser Verteilungen die Varianz der in der Nachbarschaft möglichen Zeichen so weit zu reduzieren, dass der Wahrscheinlichkeitswert der jeweils benachbarten Zeichen gegen 1 tendiert (vgl. Scha et al. 1999). Prozessiert wird diese Berechnung der ge-

gegenseitigen Abhängigkeit und Restrangierung von benachbarten Zeichen zueinander durch eine gesteuerte Permutation aktueller Zustände der Verschaltung, die durch den aktuellen, über ein Interface ins System gelangenden Input wie auch über die historische Unruhe des Systems bewirkt wird. Auf diese Weise kann sowohl das jeweilig analysierte Zeichen vereindeutigt als auch die Zeichensequenz aus der Bestimmung der jeweiligen Einzelzeichen im Ganzen fortgesetzt werden (vgl. Fissore et al. 1990: 21f.).

Das autopoietische algorithmische System ist in der Diskretheit seiner Zustände gefangen. Es muss wie bei der Sprachassistenten explizit mit der Triggerphrase *Hey Alexa*, *Hey Siri* usw. adressiert werden, um den Startpunkt einer Kommunikationssequenz identifizieren zu können, die dann in eine Bitfolge transponiert und analysiert wird (vgl. Patel/Patil 2019). Die für die Adressierung genutzte Triggerphrase setzt dabei eine spezifische Abfolge von Zeichen voraus und dient als Input, der die Schaltung so weit permutiert, dass die Sprachassistenten beginnt, die an die Triggerphrase angeschlossene Kommunikationssequenz zu analysieren. Die Signatur der Abfolge von Zeichen einer Triggerphrase lässt sich aber auch so weit dynamisieren, dass sie über eine spezifische Häufigkeitsverteilung benachbarter Zeichen mit einem implizierten Befehl an die Sprachassistenten korreliert werden kann. Die Startbedingungen für ein Kommunikationsereignis können dann variabler gestaltet werden (vgl. Piernot/Binder 2019). Das Problem der räumlichen Repräsentation im rechnenden Raum bleibt allerdings insofern bestehen, als kommunikative Sequenzen als zeitliche Abfolge in die Simultaneität permutierter Bitfolge überführt werden müssen.

Solche algorithmischen Systeme arbeiten mit statistischen Korrelationen, weshalb hier die jeweiligen stochastischen Modelle relevant werden, die ihre Implementierung leiten. In diesen werden wie bei neuronalen Netzen logische Schaltungen, wie sie als *neurons* schon von McCulloch und Pitts (1943: 129ff.) beschrieben wurden, so miteinander kombiniert, dass die jeweiligen Schaltelemente je nach systemexternen oder -internen Inputs, je nach der Struktur der Verschaltung und je nach der aus den Daten gewonnenen Gewichtung des jeweiligen *neurons* konjunktiv oder disjunktiv aufeinander reagieren, also Schaltkreise schließen oder öffnen. Insofern werden Korrelationen durch Verschaltung bzw. durch eine – etwa durch Trainingsdaten bewirkte – Dynamisierung und Permutation der Verschaltung des rechnenden Raums und seiner seriellen Abfolge von differenten räumlichen Verschaltungen repräsentiert. Sie bewirken eine Defuturisierung der Produktion weiterer Kommunikationsereignisse (vgl. Ernst 2021: 29) wie auch eine Tilgung der Vergangenheit

durch die Permutation der Schaltzustände (vgl. Ernst 2018: 109) und mobilisieren eine verräumlichte Repräsentation. Die zweite Bedingung zur Autopoiesis findet sich also in diesem Moment der spezifischen Verschaltung als Strukturmerkmal bzw. als Sensitivität des Systems gegenüber seiner Historizität. Denn die Produktion des zweiten Unruhepotenzials leitet sich aus den in Bitfolgen kondensierten und derart in eine eindeutige Korrelation übersetzten vergangenen Systemereignissen ab. Als gegebener Wert, der in einer Bitfolge repräsentiert ist, muss diese Korrelation ausgelesen werden, das heißt, sie muss im Präsenzeffekt der Schaltung verfügbar gemacht werden, um verrechnet, durch Verschaltung technisch bearbeitet und in den rechnenden Raum eingeführt werden zu können. Insofern erscheint das Temporale im algorithmischen System immer als Präsenzeffekt der räumlich verfügbar gemachten Schaltzustände. Das Clustering zu Kategorien (vgl. Perrotta/Williamson 2018: 10) und die diskrete Vereindeutigung von Korrelationen (vgl. Mühlhoff 2020: 877f.) können als Verfahren aufgefasst werden, die algorithmischen Systemen zur räumlichen Übersetzung von Kommunikation zur Verfügung stehen.

Für die Beteiligung von algorithmischen Systemen an Kommunikation ist also die Übersetzung von Kommunikation in eindeutige Schaltzustände notwendig, denn nur so wird eine Adressierung möglich, wie sie auch für die Inklusion psychischer Systeme vorausgesetzt wird (vgl. Fuchs 1997: 63). Algorithmische Systeme werden über Inputs mit Signaturen versorgt, die als Startsequenz für die Konstitution von Anschlusskommunikation fungieren und damit Interfaces erst ermöglichen. Bei Interfaces handelt es sich um sensitiven Oberflächen, auf denen von Sensoren bestimmte Bewegungen erfasst und von Algorithmen auf bestimmte Signaturen ausgelesen werden, um analog zu sprachlichen Triggerphrasen eine bestimmte Datenverarbeitung zu initiieren (vgl. Karafillidis 2018: 134f.). Das Interface dient hierbei nicht nur zur Übersetzung von Signaturen in Schaltzustände, es muss auch Daten lesen, schreiben und verarbeiten, um die Signaturen selbst zur Permutation von Schaltzuständen nutzen zu können. Die Signaturen der Eingabe mobilisieren in diesem Sinne ein doppeltes Unruhepotenzial, mittels dessen die Permutation von Schaltungen erst möglich wird, durch die sodann weitere permutierbare Schaltungen verfügbar gemacht werden. Einige algorithmische Systeme stellen Kommunikation dabei unter Dauerobversation, sodass Ereignisse mit spezifischer Signatur als Triggerphrase eine Permutation des Schaltzustandes bewirken können. Das Interface stellt also nicht lediglich eine Oberfläche dar, sondern mit ihm verbinden sich Prozesse der Mobilisierung des doppelten Unruhepotenzials des Systems.

Mit dem Vorschlag von Roger Häußling (2020), Daten als Interfaces zwischen algorithmischen und sozialen Prozessen aufzufassen, statt Algorithmen und das in ihnen prozessierte Wissen als Vermittlungsoperation zwischen Datenproduktion und sozialen Prozessen zu konzipieren, wird es möglich, auf die Operationen sozialer und algorithmischer Systeme abzustellen: Das algorithmische System muss sein doppeltes Unruhepotenzial mobilisieren, um ein Interface zu konstituieren, mit dem es sich als kommunikative Adresse für soziale Systeme verfügbar macht.

5. Die Duplexstruktur der Kommunikation als Möglichkeitsbedingung autopoietischer algorithmischer Systeme

Luhmann (2002: 314) merkte vorsichtig an, dass bei der Interaktion mit Computern die Unterscheidung zwischen Mitteilung und Information nicht mehr getroffen werden könne. Für User*innen, so Luhmann, erschienen lediglich Informationen, die je nach den Selektionsbedingungen der User*innen in unterschiedlich kombinierte Spektren der Informationsverweisung führten. Der Computer als Maschine erzeugt für die User*innen eine virtuelle Kontingenz durch Manipulation der Daten (vgl. Esposito 1993: 350). Entweder – aber das ist für Luhmann noch offenzuhalten – gilt es, einen radikal neuen Kommunikationsbegriff zu entwickeln (Fuhrmann 2019: 51–79; 2020), oder der Interaktion muss abgesprochen werden, sich als Kommunikation qualifizieren zu können (vgl. Fuchs 1991).

Algorithmische Systeme, so sie als rechnender Raum aufgefasst werden, reduzieren Kommunikationsereignisse insofern auf ihre schiere Ereignishaftigkeit, als das Mitteilungsereignis für sie einzig und allein eine Differenz ist, die einen Schaltzustand triggert. Dadurch lösen sie das Problem, die Zeitlichkeit der Kommunikation in ein räumliches Prinzip zu überführen. Die These Luhmanns (1987: 196ff.), Kommunikation konstituiere sich dann, wenn eine dreifache Selektivität von Mitteilung, Information und Verstehen in einem Ereignis synthetisiere, wird also durch algorithmische Systeme herausgefordert. Denn mit dem algorithmischen System tritt ein Kommunikation konstituierendes System auf die Bühne, das nicht mehr als Ego seine Erwartung daran orientiert, das Mitteilungsverhalten Alters von dem zu unterscheiden, was Alter mitteilt und dadurch die Kapazitäten gewinnt, zu antizipieren, was Alter antizipiert, sowie im weiteren Anschließen das Verstehen Alters zu prüfen. Bei

Kommunikationsereignissen handelt es sich für algorithmische Systeme weder um Information noch um Verstehen, weil diese jeweils eines Nachtrages bedürfen, der aufgrund der Tilgung von Vergangenheit und der Defuturisierung im rechnenden Raum nicht realisiert werden kann. Die Information wird dadurch zur Information, dass sie eine Differenz zu einem vorherigen Zustand produziert. Das Verstehen avanciert im Moment des Anschlusses zum Verstehen und setzt darum zwei realisierte Systemzustände voraus (ausführlich zur Selektionstrias Fuhrmann 2019: 61–73). Lediglich das Moment der Mitteilung, das aus einer sinngenetischen Perspektive als leere Nachricht erscheint, dient dem algorithmischen System als Input, als ein Impuls, der eine Permutation im System produziert. Das Mitteilungsereignis markiert so einen Duplex, das darin besteht, sowohl als Präsenzeffekt der Permutation einer elektronischen Verschaltung als auch als ein Ereignis dienen zu können, an das eine Sinn-genese angeschlossen werden kann.

Diese beiden Möglichkeiten der Verarbeitung von Kommunikation werden durch deren Duplexstruktur möglich (vgl. Fuhrmann 2020: 31f.). Das ist eine Struktur, die kommunikative Ereignisse sowohl als akute Jetzt-Zeitpunkt-Ereignisse einer Mitteilung verfügbar hält und sie damit sowohl algorithmisch auslesbar macht als auch in einen sinngenetischen Nachtrag einschreibbar werden lässt. Der Nachtrag kann durch psychische Systeme vorgenommen werden, um das jeweilige Jetzt-Zeitpunkt-Ereignis in einen relationalen Kontext einzuschreiben, der eine Deutung des betreffenden Kommunikationsereignisses ermöglicht. Kommunikationsereignisse weisen also einen Präsenzeffekt auf, der ähnlich wie der Präsenzeffekt des jeweils aktuellen Zustands der elektronischen Verschaltung algorithmischer Systeme auf eine aktuelle Indikation reduzierbar ist, die unbestimmt lässt, wovon sie unterschieden ist (vgl. Fuhrmann 2019: 29f.). Die Übersetzung, also das Verfügbarmachen eines historischen Moments durch Schaltung und Gewichtung von Schaltelementen, dient der Bestätigung der korrelierten Kategorien, so dass autopoietische algorithmische Systeme in Bezug auf ihre soziale Umwelt strukturkonservativ operieren (vgl. Fuhrmann 2021). Die Annahme, dass autopoietische algorithmische System strukturkonservativ operieren, gilt auch für »Generative Adversarial Networks« (Aggarwa/IMittal/Battineni 2021), auch wenn diese generativ auftreten. Denn die von ihnen produzierten Daten bzw. Manipulationen etwa von Bild- oder Videodateien beim Deepfake, werden aus statistischer Ähnlichkeit generiert.

Zugespitzt heißt das, dass algorithmische Systeme nur deshalb Kommunikation in die Eindeutigkeit elektronischer Verschaltungen übersetzen

können, weil Kommunikation eine sinngenetisch nicht verfügbar zu machende Signatur gesellschaftlicher Asymmetrie generiert, sie also nicht entropisch, sondern negentropisch geordnet ist (vgl. Fuhrmann 2021: 111f.). Diese Signatur zeitigt sich in der differentiellen Häufigkeitsverteilung einzelner Zeichen im Zusammenhang zu anderen Zeichen, mithin also als Korrelation. In der Verteilung der Häufigkeit von Zeichen und Ereignissen werden dann auch sexistische, rassistische, klassistische und weitere Grammatiken der Diskriminierung algorithmisch reproduziert (vgl. Prietl 2019; Hamilton 2019; Bono/Croxson/Giles 2021; Egbert/Krasmann 2020: 907).

Literatur

- Aggarwal, Alankrita, Mamta Mittal und Gopi Battineni. 2021. Generative Adversarial Networks: An Overview of Theory and Applications. *International Journal of Information Management Data Insights* 1: 1–9.
- Baecker, Dirk. 2008. Über Verteilung und Funktion der Intelligenz im System. In *Wozu Systeme*. 2. Aufl., 41–66. Berlin: Kadmos.
- Beckermann, Ansgar. 1988. Sprachverstehende Maschinen. Überlegungen zu John Searle's Thesen zur Künstlichen Intelligenz. *Erkenntnis* 28: 65–85.
- Bono, Teresa, Karen Croxson und Adam Giles. 2021. Algorithmic Fairness in Credit Scoring. *Oxford Review of Economic Policy* 37: 585–617.
- Brause, Rüdiger W. 1991. *Neuronale Netze: Eine Einführung in die Neuroinformatik*. Stuttgart: Teubner.
- Broy, Manfred. 1998. *Informatik. Eine grundlegende Einführung. Programmierung und Rechnerstruktur*. Wiesbaden: Springer.
- Dennett, Daniel C. 2021. Turings seltsame Umkehrung der Argumentation. Was uns Darwins Evolutionstheorie über Künstliche Intelligenz verrät. In *Künstliche Intelligenz – Die große Verheißung*, Hg. Anna Strasser, Wolfgang Sohst, Ralf Stapelfeldt und Katja Stepec, 27–36. Berlin: xenomoi.
- Dupuy, Jean-Pierre. 2015. Auf dem Weg zu einer Wissenschaft der Autonomie? *Trivium* 20. <https://doi.org/10.4000/trivium.5188>.
- Egbert, Simon und Susanne Krasmann. 2020. Predictive Policing: Not Yet, but Soon Preemptive? *Policing and Society* 30: 905–919.
- Ernst, Christoph, Irina Kaldrack, Jens Schröter und Andreas Sudmann. 2019. Künstliche Intelligenzen. Einleitung in den Schwerpunkt. *Zeitschrift für Medienwissenschaften* 21: 10–19.

- Ernst, Wolfgang. 2018. Zwischenarchive: eine Zeitform der Digitalen Kultur. In *Mikrozeit und Tiefenzeit*, Hg. Friedrich Balke, Bernhard Siegert und Joseph Vogl, 101–110. München: Wilhelm Fink.
- Ernst, Wolfgang. 2021. Existing in Discrete States: On the Techno-Aesthetics of Algorithmic Being-in-Time. *Theory, Culture & Society* 38: 13–31.
- Esposito, Elena. 1993. Der Computer als Medium und Maschine. *Zeitschrift für Soziologie* 22: 338–354.
- Esposito, Elena. 2002. *Soziales Vergessen. Formen und Medien des Gedächtnisses der Gesellschaft*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Esposito, Elena. 2022. *Artificial Communication: How Algorithms Produce Social Intelligence*. Cambridge und London: MIT Press.
- Fissore, Luciano, Alfred Kaltenmeier, Pietro Laface, Giorgio Micca und Roberto Pieraccini. 1990. The Recognition Algorithms. In *Advanced Algorithms and Architectures of Speech Understanding*, Hg. Ciancarlo Pirani, 7–78. Berlin u.a.: Springer.
- Foerster, Heinz von. 1988. Abbau und Aufbau. In *Lebende Systeme. Wirklichkeitskonstruktionen in der Systemischen Therapie*, Hg. Fritz B. Simon, 19–33. Berlin und Heidelberg: Springer.
- Foerster, Heinz von. 1999. Über selbst-organisierende Systeme und ihre Umwelten. In *Sicht und Einsicht. Versuche einer operativen Erkenntnistheorie*, 115–130. Heidelberg: Carl-Auer Verlag.
- Fuchs, Peter. 1991. Kommunikation mit Computern? Zur Korrektur einer Fragestellung. *Sociologia Internationalis* 29: 1–31.
- Fuchs, Peter. 1997. Adressabilität als Grundbegriff der soziologischen Systemtheorie. *Soziale Systeme* 3: 57–79.
- Fuchs, Peter. 2002. Die konditionierte Koproduktion von Kommunikation und Bewußtsein. In *Ver-Schiede der Kultur. Aufsätze zur Kippe kulturanthropologischen Nachdenkens*, Hg. MENSCHEN FORMEN, 150–175. Marburg: Tectum.
- Fuchs, Peter. 2015. *Der Sinn der Beobachtung. Begriffliche Untersuchungen*. Weilerswist: Velbrück.
- Fuhrmann, Jan Tobias. 2019. *Postfundamentale Systemtheorie*. Wien: Passagen.
- Fuhrmann, Jan Tobias. 2020. Wechselseitige Disziplinierung. Zum systemtheoretischen Verständnis von Kommunikation unter Beteiligung psychischer und algorithmischer Systeme. In *Algorithmisierung und Autonomie im Diskurs. Perspektiven und Reflexionen auf die Logik automatisierter Maschinen*, Hg. Christian Leineweber und Claudia de Witt, 16–46. Hagen: FernUniversität Hagen.

- Fuhrmann, Jan Tobias. 2021. Strukturkonservative Algorithmen: Künstliche Intelligenz als Kommunikationsproblem. In *Künstliche Intelligenz – Die große Verheißung*, Hg. Anna Strasser, Wolfgang Sohst, Ralf Stapelfeldt und Katja Stepec, 103–128. Berlin: xenomoi.
- Hamilton, Melissa. 2019. The Sexist Algorithm. *Behavioral Sciences & The Law* 37: 145–157.
- Häußling, Roger. 2020. Daten als Schnittstellen zwischen algorithmischen und sozialen Prozessen. Konzeptuelle Überlegungen zu einer relationalen Techniksoziologie der Datafizierung in der digitalen Sphäre. In *Soziologie des Digitalen – Digitale Soziologie? Soziale Welt, Sonderband 23*, Hg. Sabine Maassen und Jan-Hendrik Passoth, 134–150. Baden-Baden: Nomos.
- Helmbrecht, Johannes. 2004. *Selbstbewußtsein und Selbstreferenz. ICH in der Grammatik der Sprachen der Welt*. Erfurt: Seminar für Sprachwissenschaften der Universität Erfurt.
- Hildebrandt, Mireille. 2011. Who Needs Stories if You Can Get the Data? ISPs in the Era of Big Number Crunching. *Philosophy & Technology* 24: 371–390.
- Kaminski, Andreas. 2020. Gründe geben. Maschinelles Lernen als Problem der Moralfähigkeit von Entscheidungen. In *Datafizierung und Big Data. Ethische, anthropologische und wissenschaftstheoretische Perspektiven*, Hg. Klaus Wieglering, Michael Nerukar und Christian Wadephul, 151–174. Wiesbaden: Springer VS.
- Karafillidis, Athanasios. 2018. Die Komplexität von Interfaces. Touchscreen, nationale Identität und eine Analytik der Grenzziehung. *Berliner Debatte Initial* 29: 130–146.
- Kieserling, André. 1999. *Kommunikation unter Anwesenden. Studien über Interaktionssysteme*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Koster, Ann-Kathrin. 2022. Das Ende des Politischen? Demokratische Politik und Künstliche Intelligenz. *Zeitschrift für Politikwissenschaft* 32: 573–594.
- Lang, Stefan. 2020. *Performatives Selbstbewusstsein*. Paderborn: mentis.
- Lemoine, Blake. 2022. Is LaMDA Sentient? – an Interview. *Medium*. <https://cajundiscordian.medium.com/is-lamda-sentient-an-interview-ea64d916d917>. Zugegriffen: 20. September 2022.
- Luhmann, Niklas. 1989. Individuum, Individualität, Individualismus. In *Gesellschaftsstruktur und Semantik. Studien zur Wissenssoziologie*. Bd. 3, 149–258. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Luhmann, Niklas. 1998. *Die Gesellschaft der Gesellschaft*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.

- Luhmann, Niklas. 2002. *Einführung in die Systemtheorie*. Heidelberg: Carl-Auer Verlag.
- Luhmann, Niklas. 2008a. Die operative Geschlossenheit psychischer und sozialer Systeme. In *Soziologische Aufklärung 6. Die Soziologie und der Mensch*. 3. Aufl., 26–37. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Luhmann, Niklas. 2008b. Probleme mit operativer Schließung. In *Soziologische Aufklärung 6. Die Soziologie und der Mensch*. 3. Aufl., 13–26. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Luhmann, Niklas. 2017. Die Kontrolle von Intransparenz. In *Die Kontrolle von Intransparenz*, 96–120. Berlin: Suhrkamp.
- Maskarinec, Malika. 2010. Das Begehren der Philologie nach räumlichen Beziehungen. In *Möglichkeiten und Grenzen der Philologie*, Hg. Jens Elze, Zuzanna Jakubowski, Lore Knapp, Stefanie Orphal und Heidrun Schnitzler, 79–88. Berlin: FU Berlin.
- McCulloch, Warren und Walter Pitts. 1943. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5: 115–133.
- Miyazaki, Shintaro. 2017. Algorhythmische Ökosysteme. Neoliberale Kopplungen und ihre Pathogenese von 1960 bis heute. In *Algorithmenkulturen. Über die rechnerische Konstruktion der Wirklichkeit*, Hg. Robert Seyfert und Jonathan Roberge, 173–187. Bielefeld: transcript.
- Mühlhoff, Rainer. 2020. Automatisierte Ungleichheit. Ethik der Künstlichen Intelligenz in der biopolitischen Wende des Digitalen Kapitalismus. *Deutsche Zeitschrift für Philosophie* 68: 867–890.
- Nassehi, Armin. 2019. *Muster. Theorie der digitalen Gesellschaft*. München: C. H. Beck.
- Oberschelp, Walter und Gottfried Vossen. 2006. *Rechneraufbau und Rechnerstrukturen*. München und Wien: Oldenbourg.
- Pasquinelli, Matteo. 2017. Machines that Morph Logic: Neural Networks and the Distorted Automation of Intelligence as Statistical Inference. *Glass Bead* 1: 1–17.
- Patel, Gayatri und Kajal Patil. 2019. My Buddy App: Communications between Smart Devices through Voice Assist. *International Research Journal of Engineering and Technology* 6: 2138–2155.
- Perrotta, Carlo und Ben Williamsons. 2018. The Social Life of Learning Analytics: Cluster Analysis and the ›Performance‹ of Algorithmic Education. *Learning, Media and Technology* 43: 3–16.
- Pias, Claus. 2009. Time of Non-Reality. Miszellen zum Thema Zeit und Auflösung. In *Zeitkritische Medien*, Hg. Axel Volmar, 267–279. Berlin: Kadmos.

- Piernot, Philippe und Justin Binder. 2019. *Reducing the Need for Manual Start/End-Pointing and Trigger Phrases*. <https://patentimages.storage.googleapis.com/0e/07/f6/9500b529e83493/US10373617.pdf>. Zugegriffen: 4. Januar 2020.
- Prietl, Bianca. 2019. Algorithmische Entscheidungssysteme revisited: Wie Maschinen gesellschaftliche Herrschaftsverhältnisse reproduzieren können. *Feministische Studien* 37: 303–319.
- Rojas, Raúl. 1993. *Theorie der neuronalen Netze. Eine systematische Einführung*. Berlin u. a.: Springer.
- Scha, Remko, Rems Bod und Khalil Simo'an. 1999. A Memory-Based Model of Syntactic Analysis: Data-Oriented Parsing. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence* 11: 409–440.
- Searle, John. 1980. Minds, Brains, and Programs. *The Behavioral and Brain Sciences* 3: 417–457.
- Sheng, Victor S. und Jing Zhang. 2019. Machine Learning with Crowdsourcing: A Brief Summary of the Past Research and Future Directions. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* 33: 9837–9843.
- Spencer-Brown, George. 1999. *Laws of Form. Gesetze der Form*. Lübeck: Bohmeier.
- Steiglitz, Ken. 2019. *The Discrete Charm of the Machine*. Princeton u. a.: Princeton University Press.
- Stokes, Jon. 2007. *Inside the Machine*. San Francisco: No Starch Press.
- Storp, Michaela. 2002. Chatbots. Möglichkeiten und Grenzen maschineller Verarbeitung natürlicher Sprache. Hannover: Gottfried Wilhelm Leibniz Universität. <https://doi.org/10.15488/2916>.
- Teubner, Gunther. 2018. Digitale Rechtssubjekte? Zum privatrechtlichen Status autonomer Softwareagenten. *Archiv für die civilistische Praxis* 218: 155–205.
- Thoppilan, Romal et al. 2022. LaMDA – Language Models for Dialog Applications. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.08239>.
- Wansleben, Leon. 2012. Heterarchien, Codes und Kalküle. Beitrag zu einer Soziologie des algo trading. *Soziale Systeme* 18: 225–259.
- Weizenbaum, Joseph. 1966. ELIZA – A Computer Program for the Study of Natural Language Communication Between Man and Machine. *Communications of the ACM* 9: 36–45.
- Wiener, Oswald. 1990. *Probleme der Künstlichen Intelligenz*. Berlin: Merve.
- Zeleny, Milan. 1976. Self-Organization of Living Systems: A Formal Model of Autopoiesis. *Journal of General System* 4: 13–28.
- Zuse, Konrad. 1969. *Rechner der Raum*. Braunschweig: Friedrich Vieweg.

Zweig, Katharina. 2018. *Wo Maschinen irren können. Fehlerquellen und Verantwortlichkeiten in Prozessen algorithmischer Entscheidungsfindung*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.

