

xität, Schwierigkeit der Variablenbestimmung, Validität der Aussagen und der Frage, welche der gefundenen Korrelationen eine ernst zu nehmende Aussage über den Untersuchungsgegenstand verspricht, zugrunde liegt. All diese Fallstricke sind fundamentale erkenntnistheoretische Überlegungen, die in der Geschichte der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Statistik noch angelegt sind, aber in der allgegenwärtigen Anwendung der Stochastik kaum noch eine Rolle spielen. Die Statistik hat sich unter neuen, mathematisierten Vorzeichen als Stochastik flächendeckend in der Wissensproduktion der Computermodelle und Simulationen durchgesetzt, ohne dass dies als Methodik ausgewiesen würde. Das wirft mitunter die epistemisch höchst aktuelle Frage auf, wie das Verhältnis von Korrelation und Kausalität verhandelt wird, wenn die Stochastik und die daraus entstandenen künstlichen Neuronalen Netzwerke Korrelationen behaupten, indem sie Vorhersagen treffen, die Frage von Kausalität aber nicht mehr diskutiert wird.

2 Die Hirnforschung und die Mensch-Maschine-Allegorie

Der Wunsch, das komplexe Gefüge des Gehirns und des Denkprozesses zu formalisieren, ist Jahrhunderte alt. Der Mathematiker und Philosoph Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) entwickelte nicht nur das Dualsystem, das heute als die mathematische Grundlage für die Entwicklung von Lochkarten und späteren Rechenmaschinen und Computern gelten kann. Auch beschäftigte er sich bereits mit der Frage, wie Maschinen mit expliziten Denkregeln ausgestattet werden können. Ähnlich Ada Lovelace (1815–1852), die heute vielen als erste Programmiererin bekannt ist; sie verband ihre Überlegungen zu Rechenmaschinen mit der Frage nach der Funktionsweise des Gehirns. Lovelace entwickelte in ihrer Übersetzung von Charles Babbages Beschreibung der Differenzmaschine (engl. *analytical engine*) einerseits eine Art Programm für die *Analytical Engine* von Babbage, während sie gleichzeitig (um 1843/44) auch an der Skizze eines mathematischen Modells für die Funktionsweise des Nervensystems saß (»a calculus of the nervous system«) und an der Frage, wie das Gehirn Gedanken und wie Nerven Gefühle hervorbringen. Diese ersten philosophischen Zeugnisse des Mensch-Maschine-Vergleichs können als Versuche gelten, sich den Abläufen des Gehirns auf der Ebene der Logik zu nähern. Die Parallele zur Maschine begründet bis heute die Modellbildung in den Neurowissenschaften und wird durch das gegenwärtige Comeback der als Konnektionismus bezeichneten Theorie aktuell wieder verstärkt. Der Konnektionis-

mus trieb schon in den 1950er-Jahren die Kybernetik sowie die Künstliche-Intelligenz-Forschung an und findet heute in den Modellen künstlicher Neuronaler Netze der Computational Neurosciences seine Umsetzung.

Die Vorstellung eines autonomen Subjekts/Gehirns basiert also auf der – nicht ganz unproblematischen – Tradition des Vergleichs von Gehirnen und Maschinen in den Wissenschaften vom Menschen. Ein Vergleich, der das ideologische Klischee eines statischen und zentralisierenden Programmablaufs im Gehirn hervorbringt und keinen Platz für Plastizität, Alterität und Negativität lässt. Gleichzeitig trifft dieser methodische Determinismus auf einen derzeit in den Neurowissenschaften zu beobachtenden Trend, anhand der Beschreibung und Deutung individueller, neuronaler Prozesse gesellschaftspolitische Fragen beantworten zu wollen. Die Idee des Neuronalen Netzwerks basiert auf mathematischen Gleichungen des synaptischen Wachstums (d.h. *Deep Learning*) und einer operationalisierten Definition charakteristischer Prozesse. Der Computer stellt demnach immer noch eine nicht wegzudenkende Parallele für die Modellierung des Gehirns dar. Mit der Entwicklung schnellerer Rechner und Hochleistungsprozessoren in den letzten Jahren hat sich auch die Möglichkeit der Berechnung komplexerer Netzwerke und damit auch die Vorstellung der Prozesse im Gehirn verändert. Zudem gibt es aus der Informatik und den Computational Neurosciences heraus Versuche, die Logik algorithmischer Entscheidungsprozesse als Grundregel menschlichen Denkens und Verhaltens zu etablieren.

Mit der Konzentration auf das Gehirn als Ort des Denkens und eines individuellen, »subjektiven Ichs« (Breidbach 1997) ließ sich eine deutungsstarke Wissenschaftsdisziplin errichten. Die Hirnforschung hat sich in den letzten Jahren stark ausdifferenziert und Verfahren entwickelt, die neue ›Einblicke‹ in das Gehirn ermöglichen, was insbesondere durch zahlenbasierte Methoden und rechenstarke Computer möglich wurde. Dadurch wurden die Neurowissenschaften zu einer methodisch und theoretisch ausdifferenzierten Disziplin, aber ausgerichtet auf nur einen einzigen Studiengegenstand, das Gehirn – als Ort des Nervensystems, mit spezieller Funktionsweise und einzigartigen Phänomenen, die aus dieser Funktionsweise hervorgehen. Charakteristisch für die Neurowissenschaften ist die Vereinheitlichung des Untersuchungsgegenstands. So halten Nikolas Rose und Joelle Abi-Rached fest: »André Holley was right, when he says that the neurosciences (in the plural form) are centred on one object of study. [...] He [Holley] insists on this ›unity‹ : ›pluralité des methods, diversité des concepts mais unité de l'objet‹ (Holley 1984, 12).« (Rose/Abi-Rached 2013, 30)

Diese disziplinäre Vereinheitlichung hat sich auf den Untersuchungsgegenstand selbst ausgewirkt. Ein neuer Denkstil in den Neurowissenschaften hat ihr Objekt, das Gehirn, so verändert, dass es auf neue Weise, mit neuen Eigenschaften und neuen Beziehungen und Unterscheidungen zu anderen Objekten erscheint. Der Untersuchungsgegenstand »Gehirn« bestimmt sich heute durch eine neurowissenschaftliche Deutungshoheit, gekoppelt mit der Hoffnung, über die Entschlüsselung neuronaler Funktionsweisen zu einer allumfassenden Erklärung für menschliches Verhalten zu gelangen und zugleich einer »charakteristischen Vagheit«: »Since it [the epistemic thing] is not and cannot be fixed from the beginning, it represents itself in a characteristic, irreducible vagueness, which is inevitable since it translates the fact that one does not exactly know what one is looking for.« (Rheinberger 1992, 310) In dieser dialektischen Verfasstheit, zwischen Unbestimmtheit und universalistischem Erklärungsansatz, ist das Gehirn das, was wir immer schon kennen und was uns doch nicht bekannt ist: »That is because this object embodies what is not yet known. The object, in our case, the neuromolecular brain, is both there and not there.« (Rose/Abi-Rached 2013, 30)

Das vorliegende Buch beschreibt die Geschichte der Mathematischen Logik (die als Eigenname im Folgenden großgeschrieben wird) und wie diese zu einer *Mathematisierung von Wahrnehmung* geführt hat. Diese Schlussfolgerung, dass unsere gegenwärtigen Wahrnehmungs- und Erkenntnisprozesse auf mathematischen Regeln beruhen, knüpft indirekt an die von Fritjof Capra (1983, VIII) in den 1980er-Jahren behauptete *Krise der Wahrnehmung* an. Über Capras Einschätzung von einer *Krise der Wahrnehmung* las ich erst, als ich das Konzept der *Mathematisierung von Wahrnehmung* bereits als Analysewerkzeug entwickelt hatte. Capras Buch *Wendezeit* liest sich optimistisch, als Aufruf, die Krise der Wahrnehmung zu überwinden und einen fundamentalen Perspektivenwechsel aller Wissenschaften vorzunehmen, weg von einem dualistisch-mechanischen Weltbild und hin zu einem ganzheitlichen. Er fordert komplexes Denken ein, ganz nach dem Vorbild einer neuen, von Einstein geprägten Physik. Die Krise, so meine Sicht, besteht weiterhin. Das Konzept der *Mathematisierung von Wahrnehmung* weist darauf hin, dass der geforderte Perspektivenwechsel, zumindest in der Erkenntnisproduktion der Computational Neurosciences und der Künstlichen Intelligenzforschung, nicht stattgefunden hat. Insbesondere in den wissenschaftlichen Denkkollektiven, in denen sich kybernetische und systemtheoretische Erklärungen durchgesetzt haben, zeigt sich die Fortführung einer spezifischen Anschauung über Informationsverarbeitung, kognitive Prozesse und Kommunikation, die Orit Halpern

als »communicative objectivity« bezeichnet. Dieses spezifische und stark formalisierte Verständnis von ›Wahrnehmen‹ hatte einen massiven Einfluss auf die heutige Wissensproduktion: »It documents a radical shift in attitudes to recording and displaying information that produced new forms of observation, rationality, and economy based on the analysis of data; what I label a ›communicative objectivity‹.« (Halpern 2014, 1) Allein über die historische Kontextualisierung und das Herausarbeiten epistemischer Vorannahmen in diesen mathematischen Modellen der Information und ihrer Verarbeitung lässt sich zeigen, dass historische Veränderungen in der Art und Weise, wie wir unsere Wahrnehmung steuern und schulen und wie wir Vernunft und Intelligenz definieren, auch eine Veränderung der governemtalen Regierungsweisen¹ darstellt (vgl. ebd.).

Neuronenmodelle als mathematisierte Form der Wahrnehmung basieren auf algebraischen Symbolen und Zeichen und begründen in ihrer Übersetzung in den digitalen Computerraum einen neuen Code. Aber neu ist der Code allein in seiner technisch-algorithmischen Reproduzierbarkeit, der Code selbst speist sich aus jahrhundertealten Technologien des Separierens, Quantifizierens, Klassifizierens und mathematisierter Aussagenlogik. Diese Codes beinhalten die Geschichte quantifizierbarer Eigenschaften, die Logik von Ursache und Wirkung und somit vorherbestimmte Kausalitätsketten. In die Codes eingebettet sind soziale Strukturen, Geschichte, Machtverhältnisse und Ungleichheiten, daher machen sie manche Phänomene sichtbar beziehungsweise bringen Kausalitäten hervor, andere unsichtbar und damit nicht denkbar. Nicht zuletzt basieren diese Codes auf *Technologies of Gender* (De Lauretis 1987), und Ruha Benjamin erinnert uns in *Race after Technology* daran: »How race is a kind of technology, designed to separate, stratify, and sanctify the many forms of injustice experienced by members of racialized groups.« (2019, 36)

In der Iteration und Reintegration von althergebrachten Technologien, wie Sprache und Symbole, im Quantifizieren und Klassifizieren deutet sich bereits das an, was im sechsten Kapitel als methodischer Zirkelschluss bezeichnet wird: Gemeint ist die Etablierung mathematischer Methoden zunächst zur Untersuchung des Gehirns, danach zur Modellierung neuronaler

1 Wenn ich in dieser Arbeit von ›Regierungsweisen‹ oder ›regiert werden‹ spreche, meint dies nicht allein ein politisches Regierungssystem, sondern verweist auf die Foucaultsche Analyse von Macht, in der verschiedene diskursive und dispositive Bedingungen das Verhalten von Individuen und Kollektiven formen.

Netzwerke und zuletzt zu Erklärung seiner neuronalen Erscheinungs- und Funktionsweise. Die Erklärungsmuster, die anfangs als methodischer Zugang zu einem besseren Verständnis des Gehirns dienen sollten, bilden heute das Grundverständnis über die Seinsweise neuronaler Strukturen überhaupt.

In dem zufälligen – oder nicht bewussten – Aufgreifen des Wortes Wahrnehmung, das im Sinne erkenntnistheoretischer Möglichkeitsräume verstanden werden soll, möchte ich zwar etwas weniger optimistisch, aber dennoch ganz bewusst an Capras Aufforderung und Hoffnungen anschließen. Die gar nicht mehr so krisengeschüttelte Wahrnehmung folgt einer instrumentellen Logik, die es zu kritisieren gilt. Hierfür knüpfe ich an den Informatiker Joseph Weizenbaum an, einer der wichtigsten Kritiker und nach Eigenbezeichnung ein ›Ketzer in der Informatik‹, der den ›Imperialismus der instrumentellen Vernunft‹ bekämpfen will. Die instrumentelle Vernunft, so mein Argument, ist Teil einer Mathematisierung der Wahrnehmung, vertrauen wir doch heute mehr denn je auf die beurteilende und schließende Statistik, die sich in die Algorithmen und stochastischen Berechnungen gegenwärtiger Analyseparameter eingeschrieben hat. Aber wird die »Vernunft selbst aus der Mechanik der Natur begriffen [wie in La Mettries *L'homme machine*], reduziert sich das Seelische auf einen Mechanismus der Natur« (Breidbach 1997, 47). Das Seelische wird damit zu einer rein operativen Verfasstheit des Ichs. Gleichzeitig werden die neurowissenschaftlichen Modelle und Konzeptionen nicht in einem luftleeren Raum formuliert, sondern in spezifischen Denkkollektiven entwickelt, reihen sich in jahrhundertealte Denktraditionen ein und werden in politischen Systemen erdacht. Das gegenwärtige Verständnis zerebralen Funktionierens, bestimmt sich nach wie vor durch seit langem überholte technologischen Modelle, deren Erfolg andere Auffassungen neuronaler Vernetzungsweisen verhindern. Darauf verweist Catherine Malabou in ihrem Buch *Was tun mit unserem Gehirn?* (2006):

Gerade die Vorstellungshindernisse eines starren, vom Denken abgetrennten Gehirns ermöglichen es, das Gehirn von sich selber abzutrennen, es von dem zu trennen, was es ist, nämlich der sensible und kritische biologische Ort unserer Zeit, an dem auf die eine oder andere Weise die Evolutionen und politischen Revolutionen stattfinden, die in den 1980er-Jahren ausgelöst wurden und ins 21. Jahrhundert führen. (80f.)

Gleichzeitig verweist Malabou in ihrer kritischen Analyse auf die Verwobenheit des biologischen Orts ›Gehirn‹ mit gesellschaftspolitischen Anforderungen der neoliberalen Flexibilität. Um also das Verhältnis von Natur und Kultur

in den Debatten über unser Gehirn auszuloten und den Begriff der Plastizität² aus seinem neoliberalen Würgegriff zu lösen, müssen wir uns auch fragen, wie eine Theorie des Gehirns aussehen könnte, damit das Bewusstsein des Gehirns nicht schlicht und einfach mit dem ›Geist des Kapitalismus‹ zusammenfällt (vgl. ebd., 23).

Im Titel des vorliegenden Buches klingt auch eine Provokation an. Denn explizit spielt Ästhetik hier eigentlich keine große Rolle, ebenso wenig wie etwa die Schönheit in der Sichtbarmachung und den Visualisierungen des Gehirns, wie wir es aus den anatomisch-histologischen Bildern einzelner Neuronen von Ramón y Cajal aus dem ausgehenden 19. Jahrhundert ebenso wie aus aktuellen bildgebenden Verfahren kennen. Wie also lässt sich bei Daten, die rein auf mathematischen Modellen beruhen und damit eine Metaebene des Denkens anfertigen, an Schönheit denken? Kurzgefasst verweist der Titel *Die Schönheit des Denkens* auf die technisch und erkenntnistheoretisch bereits durchgesetzte Deutungshoheit der Computational Neurosciences darüber, wie Denken heute formalisiert und imaginiert wird. Genauer soll mit Schönheit hier zweierlei aufgerufen werden: Es ist einerseits ein Hinweis darauf, dass die Mathematik und die Physik das Kriterium der Schönheit verwenden und davon ausgehen, dass etwas »schön sei und deswegen richtig«. In der Mathematik ist das »Schöne zugleich das Wahre, und das Wahre ist in der Regel auch das Gute« (Heintz 2000, 146). Die Nähe von Mathematik zur experimentellen Naturbeobachtung klingt hier ebenfalls an; der Wunsch, der inneren Wahrheit der Natur durch Visualisierungen zu ihrem Ausdruck zu verhelfen. Malen, Grafiken erstellen, der Natur Muster entlocken, hier ähneln sich Mathematiker*innen und Künstler*innen:

A mathematician, like a painter or a poet, is a maker of patterns. [...] The mathematician's patterns, like the painter's or the poet's, must be beautiful; the ideas, like the colours or the words, must fit together in a harmonious way. Beauty is the first test: there is no permanent place in the world for ugly mathematics [...]. (Hardy 1940, 14f.)

Mit dem Verweis auf die Regelmäßigkeit und die einer mathematischen Ordnung folgenden ›Schönheit‹ werden die gesellschaftlich und im akademischen Umfeld antrainierten Vorlieben ästhetischen Erfahrens unsichtbar gemacht. Für Mathematiker*innen bedeutet ›Schönheit Ordnung und ist in diesem

2 Plastizität bezeichnet die Formbarkeit des Gehirns und dessen Eigenschaft, Nervenzellverbindungen etwa durch Lernen zu verstärken oder schwächen.

Sinne ein Kürzel für Kohärenz« (Heintz 2000, 146) und wird dadurch zum Indiz für den Wahrheitsgehalt einer Hypothese.

Der zweite Verweis auf Schönheit ist eine in den Titel eingeschmuggelte Kritik an den formalisierten und standardisierten Regelsystemen in den Beschreibungen der Neuronenmodelle der Computational Neurosciences. Die Kritik richtet sich an die erkenntnisleitende Funktion von »Schönheit«, im Sinne einer Ästhetisierung in der Beurteilung mathematischer Gleichungen und physikalischer Modelle, wie es die Physikerin Sabine Hossenfelder in ihrem Buch *Das hässliche Universum* (2019) konstatiert. Diese zweite Ebene, das ironische Augenzwinkern wiederum will einerseits einen neuen Schönheitsbegriff ausrufen, der nicht von mathematischen Symmetrien und goldenen Regeln bestimmt ist, und gleichzeitig zeigen, wie unbedarf der Begriff der Schönheit in den vermeintlich so objektiven Naturwissenschaften und der Mathematik verwendet wird. Ein eher versteckter Verweis auf dem Cover ist den im Buch hergeleiteten artifiziellen Neuronalen Netzen und deren mathematisch schönen Berechnungen von Zufall geschuldet. Ihre Hauptanwendung findet sich in grafischen Umsetzungen, von der Pinselverteilung bei Photoshop bis zur Neuberechnung von Bewegtbildern in den sogenannten Deep-Fake-Videos, in denen Menschen Worte in den Mund gelegt werden können, die sie nie gesagt haben. Eine mathematische Idee von natürlicher, zufälliger Schönheit wird durch ihre Einlagerung in stochastische Gleichungen nicht nur ständig reproduziert, durch ihre Implementierung in grafische Anwendungen findet gleichermaßen ihre Ästhetisierung und Stilisierung statt: glatte Oberflächen, dem wahrscheinlichen Durchschnitt von Normalverteilungen folgend. Das Buchcover nimmt nun diesen Zusammenhang auf, zeigt das Diagramm der Selektion möglicher Antworten künstlicher Neuronaler Netze, gleichzeitig die Verteilungsfolge eines im Grafikprogramm generierten Pinsels, der über die Verteilung der auf dem Cover befindlichen Tomaten mithilfe stochastischer Berechnungen entscheidet. Einzig die Tomate bietet hier einen Bruch: Warum Tomaten? Die Tomate ist eine Referenz an feministische Kämpfe, an den Wurf der Tomate von Sigrid Rüger auf Hans-Jürgen Krahl auf der 23. Delegiertenversammlung des SDS im September 1968, »mit dem niemand rechnete« und der dennoch weitreichende Auswirkungen hatte. Gleichzeitig verweisen die verpixelten Tomaten auf die Genese der Grafikprogramme und auf die Zeit, als noch keine Neuronalen Netzwerkalgorithmen für hochauflöste und in Echtzeit berechnete Graphikdarstellungen zur Verfügung standen.