der zentrale Aspekt, der die Spezifik des hier untersuchten Wissensbereichs ausmacht und der im Zusammenspiel mit den Codierungsmöglichkeiten des Computers erschaffen wurde.

Im Anschluss an die Definition der Mathematisierung der Wahrnehmung verdeutliche ich an den Beispielen des ›algorithmic‹ und ›predictive brain‹, dass die Idealisierung des Gehirns im Rahmen seiner Berechenbarkeit weniger mit der exakten Codierung der Prozesse einhergeht (die oft simuliert, aber nie bewiesen werden können) als vielmehr mit der Setzung der Arbeitsweise des Gehirns als mathematisch-algorithmisch, das, so der Tenor, immer schon algorithmische Entscheidungen trifft in dem Sinne, dass nach einem exakt geregelten Ablauf unter Zuhilfenahme statistischer Mittelungen Vorhersagen vorgenommen werden.

1 Einführung in das Konzept: Mathematisierung der Wahrnehmung

1.1 Mathematisierung

Die Mathematik beansprucht für sich eine logische Disziplin zu sein, die zunächst nichts anderes im Sinne hat, als eine formale Sprache zu entwickeln um den ehernen Naturgesetzen zum Ausdruck zu verhelfen. Die gegenwärtige Mathematik ist das Produkt weit in die Geschichte zurückreichender Debatten, in denen neben erkenntnistheoretischen Fragen, einschließlich ihrer tiefgreifenden Weiterentwicklungen und Ausdifferenzierungen, auch immer wieder der Bezug zur Logik diskutiert wurde. Die Ausdifferenzierung der Mathematik und ihre vielfältige Anwendung in nahezu allen Bereichen der Wissensproduktion, vom Experiment bis zur Simulation und den Visualisierungen von Wissen, machen es oftmals schwierig, ihre intrinsische Logik in den einzelnen Bereichen herauszuarbeiten. Auch die in Kapitel 4 ausführlich beschriebene Laboratisierung von Gesellschaft, also die Übertragung und Ausweitung laborativer Praktiken, etwa in den Computermodellen und Simulationen des Mathematischen Labors (Bruder 2017, 118), und das beständige Sammeln und Analysieren von Daten spielen eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Bertrand Russell (1872–1979) und Alfred North Whitehead (1881–1947) setzen in ihrem Gesamtwerk Logik mit Mathematik gleich: Alles, was Logik ist, ist Mathematik. Henri Poincaré (1854–1912), Physiker und Mathematiker, sieht die eigentliche Tätigkeit von Mathematikern nicht darin, Objekte zu studieren, sondern die Beziehungen zwischen den Objekten (Poincaré 1908). Ian Hacking schreibt, dass Mathematik weniger eine Disziplin sei als vielmehr ein Organismus (2014, 71). Für ihn umreißt Mathematik die Probleme, derer wir uns als Gesellschaft annehmen müssen, und gleichzeitig stelle sie die Konzepte bereit, mit denen wir uns den Problemen zuwenden sollen. Blickt man auf die Geschichte der Mathematischen Logik und die heutigen Anwendungsgebiete der Mathematik, wird diese zur sinnstiftenden Gesetzmäßigkeit in erkenntnistheoretischen Prozessen: Mathematische Logik leitet den erkennenden Blick auf Strukturen und Muster, differenziert und kategorisiert, überträgt Kategorien und Variablen in Symbole und Gleichungen, die wiederum mathematisch geformte Kausalitäten, Korrelationen und Erkenntnisse hervorbringen.

Hacking nennt in seiner Abhandlung *Why Is There Philosophy of Mathematics At All?* (2014), in der er nach Gründen für die Notwendigkeit einer Philosophie der Mathematik sucht, neben dem logizistischen, programmatischen und institutionellen auch einen neurohistorischen Einflussbereich von Mathematik. Hacking bezieht sich dabei auf die hier auf den letzten Seiten hinlänglich vorgestellte Annahme, dass das Gehirn auf Basis mathematischer Regeln arbeitet und sich daraus die Notwendigkeit zum Erschließen der Welt mithilfe mathematischer Regelhaftigkeiten ergibt. Den Einfluss der Mathematik auf ein neurohistorisches Verständnis des Gehirns beschreibt Hacking als einen Zusammenschluss von der Vorstellung dessen, was Mathematik charakterisiert und derer, die Mathematik betreiben: »It has long been taught by otherwise quite different schools of thought, that mathematics is the study of structure and order, a study with peculiar appeal to people with autistic tendencies.« (Ebd., 52) Mathematik ist also das, was Menschen tun, deren Gehirne im besonderen Maße dafür geeignet sind, und diese Menschen finden sich besonders gehäuft an mathematischen Institutionen, an Orten also, wo ihre ordnungs- und strukturliebenden Eigenheiten die Norm sind, was wiederum die Institutionen festigt. Ein weiterer Effekt dieser ›Mathematisierung‹ ist die aktuell geführte Debatte über die *extreme male brain theory* (Baron-Cohen 2008), die besagt, dass Menschen im autistischen Spektrum über ein neurophysiologisch besonders ›männliches‹ Gehirn verfügen. Der Einfluss der Mathematik auf die Annahme, wie das menschliche Gehirn Denkvorgänge prozessiert und rational argumentiert, evoziert in der Kombination mit einem mathematischen, als universal verstandenen Objektivitätsanspruch, eine vergeschlechtlichte Annahme vom männlich-rationalen Gehirn, das sich implizit auch in den weiter unten beschriebenen Konzepten algorithmischer und vorhersagender Gehirne wiederfindet.

In den bisherigen Kapiteln des Buchs konnte entlang der Ideengeschichte der Mathematischen Logik gezeigt werden, wie diese Eingang in die Wissens- und Erkenntnisproduktion generell und hier speziell in die Modelle und Simulationen neuronaler Prozesse gefunden hat. Die Nachempfindung komplexer Systeme mittels stochastischer Prozesse beruht auf einer langen Vorgeschichte der Reduktion und Zurichtung, der Erweiterung und graduellen Anpassung, der Übertragung und Übersetzungen und letztlich vor allem der Unterwerfung von Prozess- und Kommunikationsberechnung unter die Logik der Mathematik und der Statistik. Dazu gehört laut Stegmüller unter anderem die ›induktive Logik‹, unter der letztlich »alle Arten des Schließens zu verstehen [sind], bei denen die Conclusio über den Gehalt der Prämissen hinausgeht und daher nicht mit absoluter Sicherheit behauptet werden kann« (Stegmüller in Carnap 1959, 1). Und weiter analysiert er:

> [D]ie induktive Logik hat die Aufgabe, derartige intuitiv und instinktiv angewendete Verfahren ans klare Tageslicht zu bringen, sie zu analysieren und in der Gestalt exakter Regeln zu formulieren. Der Grundbegriff der induktiven Logik ist der Wahrscheinlichkeitsbegriff; denn die induktiven Schlüsse sind alle Wahrscheinlichkeitsschlüsse. Eine Klärung dieses Begriffes ist daher eines der Hauptprobleme, welches man bei der Errichtung eines Systems der induktiven Logik zu lösen hat. (Ebd., 2)

Die induktive Logik, derer sich heute alle Methoden bedienen, die mit Wahrscheinlichkeitsrechnung arbeiten, auch die Stochastik, bringt, basierend auf mathematischen Prämissen, auch neue Formen des logischen Schließens und Beweisens hervor. Beweisführung ist seit jeher ein umkämpfter Terminus, entscheidet er doch über die Objektivität und Wissenschaftlichkeit einer Disziplin und begründet die charakteristische Beschaffenheit des regelkonformen Schließens und Argumentierens der Mathematik.

Der mathematische Beweis

In den ersten drei Kapiteln habe ich die Vorannahmen des mathematischen, logischen Schließens herausgearbeitet. Ebenso bedeutsam wie die mathematische, statistische Logik für das wissenschaftliche Schlüsseziehen ist das darin enthaltene Verhältnis von mathematischem Beweis und dem integrierten Wahrheitsbegriff. Obwohl mathematikhistorische beziehungsweise mathematikphilosophische Arbeiten (Husserl 1887; Wittgenstein 1989 [1956], Hacking 1964 und 2014; Krüger/Daston/Heidelberger 1987; Peckhaus 1995; Mehrtens 1990a, 1990b, 2004; Heintz 2000) die Subjektivität, Sozialität und den Wandel der mathematischen Disziplin zeigen konnten, verfügt die Mathematik über einen objektiven Mehrwert, den sie unter anderem aus der Deutungshoheit des mathematischen Beweises zieht. Die logische Herleitung des mathematischen Beweises macht die Mathematik zur Ausnahmedisziplin: »The only great point of divergence between mathematics and the other sciences lies in the circumstance that experience only whispers ›yes‹ or ›no‹ in reply to our questions, while logic shouts.« (Wiener 1923, 271f.)

Der mathematische Beweis aber war und ist vielfältig: Es gibt verschiedene Arten, einen mathematischen Beweis vorzunehmen, zusätzlich unterliegt der mathematische Beweis einem steten Wandel. Zwei sehr unterschiedliche Visionen des mathematischen Beweises finden sich etwa bei Leibniz und bei Descartes – wo Ersterer die Länge des mathematischen Belegs preist, sieht Letzterer den richtigen Weg in der Kürze und Konkretheit des Schlüsseziehens. In den letzten 50 Jahren hat sich das Verständnis vom mathematischen Beweis fundamental geändert: »Fifty years ago it was taken for granted by most mathematicians, logicians, and philosophers that demonstrative proof is a yes-or-no matter. Either a proof is valid, or it is fallacious, and that's that.« (Hacking 2014, 63) Dieser Wandel lässt sich dadurch erklären, dass heute insbesondere statistische und stochastische Schlussfolgerungen relevant sind, die auf algorithmischen Paradigmen des Ordnens und Kontextualisierens sowie auf in die Zukunft gerichteten Wahrscheinlichkeitsrechnungen beruhen, die anhand von Annäherungswerten, heißt wie wahrscheinlich ein bestimmtes Ereignis in der Zukunft eintritt, vorgenommen werden. Wahrscheinlichkeit lässt sich prozentual angeben und so würde heute kein*e Mathematiker*in mehr infrage stellen, dass »[p]roof, like any other kind of evidence, comes in degrees« (ebd.). Mathematisches Schlussfolgern ist heute eng mit wahrscheinlichkeitsorientierten Annäherungen verknüpft, die nicht mehr absolut die Wahrheit einer Aussage mit Null oder Eins angeben, sondern mit der graduellen Angabe darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Ereignis eintritt oder eine Aussage zutrifft. Diese Annäherungen, die numerisch zwischen Null und Eins liegen können, sind nicht mehr im mathematischen Sinne Beweise, sondern ermöglichen es, Rückschlüsse zu ziehen.

Experimentelle Mathematik, Mathematik als Anwendung in Physik und Physiologie

Nicht nur haben sich verschiedene Visionen der Beweisführung herausgebildet, auch im Hinblick auf seine Anwendungen wird der mathematische Beweis fortwährend angepasst, besonders in der Physik und Physiologie. Für den Einsatz im Experiment oder heute in den Berechnungen stochastischer Prozesse, in Computermodellen und Simulationen, wird auf eine anwendungsorientierte Mathematik zurückgegriffen, die für das Analysieren physikalischer und chemischer Prozesse entwickelt wurde. Die mathematischen Anwendungen der theoretischen Physik oder experimentellen Mathematik unterscheiden sich unter Umständen von den Werkzeugen der theoretischen Mathematik: »The mathematics of theoretical physics will seem a different type of thing from arithmetic or Euclidean geometry […]. The mathematics in the physicist's toolbox – and the way it is used – looks very different from that of the geometer or the number theorist.« (Hacking 2014, 50) Gleichzeitig stecken einige der traditionellen mathematischen Überlegungen in eben jenem aktuell zur Anwendung kommenden physikalischen, physiologischen ›Werkzeugkasten‹: »›[P]hysicist's toolkit‹, a surprising amount of which is a collection rather old mathematical tools in modern garb.« (Ebd.)

Die Einführung experimenteller Mathematik, zum Beispiel durch Computermodelle und Simulationen, führt zu einem verstärkten Gebrauch mathematischen Argumentierens und Schlussfolgerns, genauer zu »mathematical reasoning both in modelling the micro and macro universes around us and in designing programmes in which the models are embedded« (ebd., 64). Durch die anwendungsorientierte, experimentelle Mathematik verstärken sich mathematische Argumentationsweisen in den Modellen physikalischer Phänomene – wie etwa der Funktionsweise neuronaler Netze. Die ausgehend von der Logik eines allgemeingültigen mathematischen Aufbaus von Welt praktizierte Wissensproduktion gibt sich mit der Verwendung mathematischer Modelle selbst einen kohärenten Auftrag:

> Experimental mathematic provides the best argument for »Platonism« in mathematics: that is, the idea that mathematics is just »out there« a given. […] But in contrary to many philosophers, this does not leave everything the same, not to worry. (Ebd.)

Exakt diese Gelassenheit einer zunächst naiv daherkommenden mathematischen Argumentationsweise, allein an den Gesetzmäßigkeiten der Welt und ihren Prozessen interessiert zu sein, darüber aber eine gänzlich neue Sprache, veränderte Logik und transformierte Kausalzusammenhänge hervorzubringen und später mit ihrer mechanischen Übertragung den Informations-, Kommunikations-, Lern- und Entscheidungsbegriff völlig umzudrehen, ist maßgeblich für die Entwicklung, die hier mit dem Begriff der Mathematisierung der Wahrnehmung beschrieben wird.

Mathematische Modelle basieren einerseits auf abstrakten, ungenau gehaltenen Begriffen wie Netzwerk, Ordnung und Unordnung sowie Variabilität, die in ihrer Übersetzung in die formal-mathematische Sprache, als mathematischer Wert zwischen 0 und 1, für sich stehen und inhaltlich nicht näher definiert werden müssen. Gleichzeitig müssen sie im dualen Universum der boolschen Algebra als Gegensätze modelliert werden: Die Anwesenheit von Ordnung bedeutet also zumindest die numerische Abwesenheit von Unordnung und *vice versa*. Allerdings kann diese Beschreibung der Welt und des Status quo bereits im nächsten algorithmischen Schritt wieder zurückgenommen beziehungsweise kann ein anderes Verhältnis gesetzt werden, denn in selbstlernenden Algorithmen wird die Entscheidung beziehungsweise das Verhältnis über An-/Abwesenheit von Ordnung und/oder Unordnung jeweils neu gestellt. Das Paradigma des Ausschlusses aber bleibt bestehen, das Ähnlichkeitsparadigma etwa sucht nicht mehr nach entweder/oder, sondern nach Mustern, die dem erwarteten Ergebnis möglichst nahe kommen. Der beste Weg, um gute Simulationen zu modellieren oder exakte Vorhersagen neuronaler Aktivität zu erreichen, ist, genauestens über die Dinge informiert zu sein, die vorhergesagt werden sollen.

1.2 Wahrnehmung

Der Begriff der Wahrnehmung deckt mehrere Bedeutungsebenen ab, die im Zusammenhang mit einem mathematischen Verständnis von Welt einhergehen. Die erste Ebene umfasst allgemein die Erkenntnisprozesse, deren Erkenntnisproduktion mittels Technologien, die mathematischer Logik folgen, geschieht und darüber die Wahrnehmung dessen, was erkannt werden soll, stark prägt. Die zweite Ebene verweist auf den epistemologischen Begriff der Wahrnehmung in Anlehnung an die instrumentelle Vernunft: Was kann überhaupt über die Welt wahrgenommen werden, wenn der Argumentation mathematischer Modelle und Technologien gefolgt wird? Auf der dritten

Ebene ist Wahrnehmung hier auch als Sinneswahrnehmung zu verstehen, denn auch die menschlichen Sinne wurden einer Mathematisierung unterworfen, wie die Geschichte der Physiologie zeigt. Die numerische Erfassung von durch Sinneseindrücke ausgelöster Reizverarbeitung und die daraus resultierenden Reaktionen und Affekte unterstellen Wahrnehmungsprozessen einerseits geregelte Abläufe und eine zeitliche Dimension, und andererseits werden Sinneseindrücke in mathematisch, weil numerisch verwaltbare und unterscheidbare, abgegrenzte Systeme unterteilt und in eine hierarchische Ordnung gebracht.

Gleichzeitig steht die Verwendung des Begriffs der (Sinnes-)Wahrnehmung in der Tradition von Walter Benjamin und Friedrich Kittler, die die Technisierung und Vermessung menschlicher Sinneserfahrungen und Sinneseindrücke miteinander verweben und herausstellen, dass diese sich gegenseitig bedingen: »Die Art und Weise, in der die menschliche Sinneswahrnehmung sich organisiert – das Medium in dem sie erfolgt – ist nicht nur natürlich, sondern auch geschichtlich bedingt.« (Benjamin 1966, 14) Technologien dienen als vermittelndes Medium, ohne die »man nichts über seine Sinne weiß, bevor nicht unsere Medien [aka Technologien] Modelle und Metaphern dafür bereitstellen« (Kittler 2002, 28).

Auf einen weiteren beobachtbaren Effekt der Mathematisierung von Wahrnehmung soll hier kurz der Blick gerichtet sein, ohne darauf näher eingehen zu können. Der methodische Fokus, Wahrnehmungsprozesse mithilfe neuronaler Netze zu erklären, fördert nicht nur eine Konzentration auf die Vorgänge des Gehirns, sondern bringt auch einen Fokus auf das Sehen, das Auge und auf assoziatives, über Repräsentationen vermitteltes Denken mit sich. Sehen und Wahrnehmen werden in den mechanischen und mathematischen Neuronenmodellen seit McCulloch und Pitts gleichgesetzt, unterschiedlich ist nur die Form, in der das zu Sehende dem Gehirn als Information angeboten wird. Für diese Fokussierung auf das Auge als Hauptsinn gibt es viele Gründe. Ein Effekt davon ist jedenfalls eine spezifische Technikentwicklung, die sich vor allem an das Auge richtet, angefangen bei den Kommunikationstechnologien bis hin zu Virtual Realities. Mit dem Analyseinstrument der Mathematisierung von Wahrnehmung lassen sich somit weitere technologische Entwicklungen der letzten Jahre betrachten.

Nach der Herleitung der Begriffe Mathematik und Wahrnehmung im Konzept der Mathematisierung von Wahrnehmung werde ich im Folgenden eine Definition des Konzepts selbst wagen. Im Anschluss an Weizenbaums Kritik der instrumentellen Vernunft erweitert das Konzept der ›Mathematisierung‹ die zweckrationalistische Verfasstheit von Vernunft um die epistemischen Effekte der Mathematischen Logik.

2 Mathematisierung der Wahrnehmung. Von der Automatisierung des Denkens zum informierten Fühlen von Fakten

> All science as it grows toward perfection becomes mathematical in its ideas – Whitehead 1911, 14

Für das hier im Folgenden vorgestellte Konzept einer Mathematisierung der Wahrnehmung stellt sich nun konkret die Frage, welcher Bereich der Mathematik die Grundlage für die behauptete Mathematisierung bildet. Und welchen Mehrwert hat die Geschichte der Mathematik für das Verständnis der (Computational) Neurosciences und der eher in der KI verorteten ›Neuronalen Netzwerke‹, die wiederum als Modelle und in Form von selbstlernenden Algorithmen aus den Neurowissenschaften heraus begannen, ein mathematisches, konnektionistisches Eigenleben zu führen?

Der Kybernetiker Norbert Wiener wirft einen Blick in die Technologiegeschichte und hält fest: »Wenn das 17. und das frühe 18. Jahrhundert das Zeitalter der Uhren war und das späte 18. und das 19. Jahrhundert das Zeitalter der Dampfmaschinen, so ist die gegenwärtige Zeit das Zeitalter der Kommunikation und der Regelung.« (1992, 74) Gleichzeitig sieht der Vordenker von gegenwärtig im Aufschwung begriffenen künstlichen Intelligenzen und neuronalen Netzen die Anleihen der Kybernetik in der Mathematischen Logik und bei Leibniz.

> An diesem Punkt kommt ein Element hinzu, das wiederholt in der Geschichte der Kybernetik auftritt – der Einfluß der mathematischen Logik. Wenn ich unabhängig von der Geschichte der Wissenschaft einen Schutzpatron für die Kybernetik wählen sollte, würde ich Leibniz nennen. (Ebd., 40)

Wiener nennt Leibniz nicht zufällig, denn dieser hat bereits einige mathematische Vorannahmen getroffen, die sich später auch in der Kybernetik wiederfinden. Zu nennen sind hier etwa: die von Leibniz erstmals initiierte Formalisierung hin zu einer Mathematischen Logik; seine Absicht, eine universelle Sprache einzuführen zum besseren Verständnis logischer Prozesse; seine Vorstellung von umfangreichen mathematischen Beweisen, für deren Berech-