Kapitel 1: Mathematik und Naturerkenntnis

1 Mathematik und Naturerkenntnis

> Die Sehnsucht war so stark, dass sie mir mathematisch erschien –
> *Nnedi Okorafor – Binti*

»Ja, ist doch logisch« – ein häufig ausgesprochener Satz, der uns glauben macht, dass das, was als Logik und logische Abläufe gilt, ein Allgemeinplatz ist. Bestimmt allein durch Nachvollziehbarkeit, einer exakt festgelegten und bewährten Reihenfolge folgend, ein in sich schlüssiges Argument, sich nicht widersprechend, manchmal auch statistisch bemessen, häufig im Zusammenhang mit Wenn-dann-Ereignissen. Eine logische Argumentation hat in den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen klar definierte, wenn auch unterschiedliche Bedeutungen – eine Differenzierung, die beim Übergang aus der Wissenschaft in die Anwendung beziehungsweise in gesellschaftliche Diskussionen meist abhandenkommt. Im historischen Rückblick lässt sich über die Logik sagen, dass ab dem 17. Jahrhundert eine auf Symbolen basierende Mathematische Logik entsteht, die sich zur deutlich früher praktizierten philosophischen Logik gesellt. Das 17. und 18. Jahrhundert verabschieden sich sukzessive von den Prämissen einer philosophischen Logik, deren Ausgangspunkt Aristoteles' Katalog logischer Argumente lieferte – Syllogismen genannt –, der für viele Jahrhunderte bestimmte, was unter Logik zu verstehen sei. Das logische Argumentieren nach Aristoteles lässt sich eher als eine Praxis beschreiben und wurde als Scholastik bezeichnet. Scholastik meint den Dialog, das Abwägen von Prämissen und Behauptungen, die ausgehend von den aufgestellten Syllogismen eine Art der Beweisführung und des Philosophierens darstellte.

Dieses Buch zeichnet die Geschichte, die Debatten und Effekte der Mathematischen Logik nach, deren spezifische Art des Formalisierens eng mit der Modellierungsweise logischen Denkens und Neuronaler Netzwerke zusammenhängt. Durch folgenreiche neue Einblicke und intensiv geführte Debatten entwickelt sich die Mathematik ab dem 17. Jahrhundert explosionsartig, bringt eine gänzlich eigene Sprache hervor, eigene Grundlagensätze, die wiederum spezifische Interpretationsräume mit eigenen Vorbedingungen befördern und sich letztlich in einer Mathematischen Logik ausdrücken. Die Effekte der Implementierung Mathematischer Logiken über das Experiment und Vermessungsweisen in die Labore und Experimentalanordnungen ändern nicht nur sukzessive die wissenschaftlichen Untersuchungsinstrumentarien und ihre epistemischen Objekte. Die Mathematische Logik schlichtet durch die Einführung der Wahrscheinlichkeitstheorie im 20. Jahrhundert das lange Ringen zwischen empirischer und theoretischer Forschung, zwischen Erfahrungswerten und *a priori* existierenden Gesetzen. Erfahrung verliert durch die Suche und das Fruchtbarmachen einer alles zugrunde liegenden mathematischen Sprache seine erkenntnisleitende Funktion, wird erst aus der wissenschaftlichen Forschung verbannt, um dann ab Ende des 20. Jahrhunderts unter mathematischen und statistischen Prämissen wieder verstärkt in die Erkenntnisproduktion zurückgeholt zu werden. Diesen Erfolg erfährt die Logik auch durch ihre Mathematisierung, denn die abendländische Kultur ist von einer erklärenden und fast transzendentalen Wirkung der Mathematik durchdrungen. »In mathematischer Form eine syntaktische Struktur oder Herkunftsregeln zu beschreiben, erscheint vielen bereits eine hinreichende ›Erklärung‹ zu sein.« (Changeux/Connes 1992, 2)

Aktuell befinden wir uns in einem »goldenen Zeitalter der Mathematik« (Fröba/Wassermann 2007, 7), denn zu keiner anderen Zeit stand das Alltagsleben der Menschen so stark unter dem Einfluss mathematischer Formalisierungsweisen. Sie findet sich in nahezu allen heute sogenannten smarten Technologien wie Mobiltelefonen, dem Internet, Navigationssystemen, Satellitenkommunikation, der Automatisierung von Arbeitsschritten in der Industrie, in der Logistik, der Robotik etc. Das Eingewobensein von Mathematik in heute verbreitete Technologien ist allgegenwärtig, aber greifbar und leicht ersichtlich. Weniger offensichtlich präsentieren sich die Einlagerungen einer Mathematischen Logik mit ihren Formalisierungsweisen und Prämissen. Gleichzeitig ist sie in Technologien nicht nur eingeschrieben, sondern smarte Technologien verkörpern die Mathematische Logik und sind darüber hinaus in die Apparaturen der Wissensproduktion eingewoben. Die spezifische Art des Argumentierens im Sinne der Mathematischen Logik ist längst Teil unseres Alltags und unseres Lebens geworden: Über neue und soziale Technologien ist sie in Gebrauchsgegenstände gelangt, bestimmt damit die Koordinatensysteme unseres Lebens, auch außerhalb des wissenschaftlichen Labors, greift ein in äußerst individuelle Bereiche wie die Kognition, die Kommunikation und die Psyche. Dieser Siegeszug der Mathematischen Logik durch die Technologien der Digitalisierung in vielen gesellschaftlichen Bereichen wie der Kommunikation, den Arbeitspraktiken, dem Gesundheitswesen, ebenso wie in den Methoden der Wissensproduktion, ist der aktuelle Endpunkt eines jahrhundertealten Ringens, so die Hypothese dieses Buches. Inwiefern dies mit den Modellen des Gehirns und seinen Denkprozessen zusammenhängt und welche Auswirkungen der Siegeszug im Sinne einer Mathematisierung der Wahrnehmung auf das Wissen über uns und unser Gehirn hat, das möchte ich auf den nächsten Seiten weiter ausführen.

Die Logik gilt als die Lehre des formalen Schließens und der Beweis als ihr wichtigstes Instrument. Der Beweis ist eine konsequente Folge von Schlüssen, die von bereits bewiesenen Sätzen oder Prämissen, unter denen die Behauptung sich als wahr erweisen soll, ausgeht und deren letzte Konklusion die zu beweisende Behauptung ist. »Damit ein Beweis akzeptiert wird, fordert man im allgemeinen nur, daß jeder Schritt des Beweises, jeder einzelne Schluß als richtig einleuchte. Dieses ›Einleuchten‹ ist aber nun kein unproblematisches Kriterium, denn es hat schon manchem etwas eingeleuchtet, was sich hinterher als falsch erwies.« (Kutschera 1967, 4) Logik bedeutet, allgemeine Kriterien für das richtige Schlussziehen aufzustellen. Was aber die Kriterien ausmacht, das unterscheidet sich je nachdem, welcher Logik man folgt. Was also ist neu an der modernen Logik, auf die hier im Weiteren als Mathematische oder symbolische Logik rekurriert wird? Dies betrifft zum einen die Methode der Formalisierung und die Verwendung einer eigens hierfür erschaffenen Sprache. Und zum anderen ihre Syntax, also ein Regelsystem zur Anordnung der formalisierten Zeichen, die im Weiteren bestimmt, wie aus vorgegebenen Sätzen neue Sätze gewonnen werden können – gänzlich ohne auf die Bedeutung dieser Sätze zu achten. Der Wunsch nach Formalisierung ist nicht originär in der modernen, heißt Mathematischen Logik verankert, auch die traditionelle philosophische Logik folgt dem Wunsch nach Formalisierung. Ihre Tragweite entwickelt die mathematische Formalisierung als Teil der Logik zunächst bei Leibniz und Descartes, 1847 dann bei Boole, der diese Konzeption in seinem Werk *The mathematical analysis of logic* erstmals umfassend umsetzte. Später bei Frege findet sich zum ersten Mal der Aufbau eines präzisen Formalismus und in ihm die genaue Darstellung einer Logik, die neue Erkenntnisräume zuließ.

Die Geschichte der Logik entpuppt sich als Geschichte wissenschaftlicher Disziplinen im Allgemeinen und der Erkenntnistheorie im Besonderen. Die jahrhundertealte Tradition des philosophischen Beweises als Ableitung von einer spezifisch festgelegten Logik, wie wir sie schon in den Syllogismen bei Aristoteles finden, wird zunächst durch den Wunsch erweitert, Beobachtungs- und Erfahrungswerte in die wissenschaftliche Erkenntnisproduktion einzuführen. Durch empirische Vermessungsweisen wie Wiegen, Zählen und Vergleichen sollen sie wiederum an eine physikalische Realität zurückgebunden werden. Viele Forschende, die heute als Naturwissenschaftler*innen gelten würden (wie Leibniz, Descartes, Newton, Helmholtz, du Châtelet etc.), haben sich zuallererst mit der Frage nach der Möglichkeit von Erkenntnis auseinandergesetzt. Die im Folgenden vorgestellten Wissenschaftler*innen stehen exemplarisch für einen bestimmten epistemologischen Wandel in der Auffassung von Erkenntnis, Methodologie und Methoden. Sie stehen für eine Entwicklung von einer Wissenschaft, die bis in die frühen Anfänge des 20. Jahrhunderts hinein immer auch mit dem Status einer Letztinstanz (Gott) rang. Im deutschsprachigen und europäischen Raum werden wissenschaftliche Disziplinen erst ab dem 20. Jahrhundert tiefgreifend säkularisiert, gleichzeitig werden mathematische Naturgesetze zur Grundlage ›allen‹ Wissens über Natur und Körper generalisiert.

1.1 Erste Formalisierungsschritte. Mathematik und Naturerkenntnis in der Philosophie vor dem 19. Jahrhundert

Eine erste erkenntnistheoretisch gewichtige mathematische Formalisierung in der Naturphilosophie erfolgt durch die Euklidische Geometrie, die Euklid von Alexandria im 3. Jahrhundert v. Chr. in seinem Werk *Elemente* aufschrieb. Dieses an Aristoteles' Idee der Grundlagensätze angelehnte axiomatische (unbezweifelbare) Regelwerk gilt als erste Sammlung von Axiomen in der Mathematik. Anhand dieser ersten Axiome wurde immer wieder diskutiert, welche mathematischen Sätze und Annahmen überhaupt als *a priori* gelten können und was *a priori* bedeutet. Die Euklidische Geometrie gilt als vorbildliches Formalisierungsbeispiel apriorisch aufstellbarer Axiome und war bis zu ihrer Erweiterung ab Mitte des 19. Jahrhunderts ein unumstößlicher Beweis für allgemeingültige mathematische Regeln in den Naturgesetzen. Seither spielen die Euklidische Geometrie und später auch ihre Erweiterungen bei Fragen über das Verhältnis von Raum und Zeit und dem sich darin verortenden Menschen eine immer wiederkehrende Rolle. Der Mathematiker Bernhard Riemann (1826–1866) begründete die nach ihm benannte riemannsche Geometrie, in der Raum nicht mithilfe zusammengesetzter Flächen modelliert wird, sondern auch mittels gekrümmter, mannigfaltiger Räume. Bei Riemann noch in die Euklidische Geometrie eingepasst, verwendet Albert Einstein die riemannsche Geometrie für seine Relativitätstheorie, in der er Gravitation als geometrische Eigenschaft definiert, als gekrümmte vierdimensionale (heißt nicht euklidische) Raumzeit. Eben dieser Riemann »zog 1854 die Trennungslinie zwischen Physik und Mathematik an der Frage des Raumes. Der wirkliche Raum der wirklichen Welt ist Sache der Physik. Die Mathematik klärt die Begriffe; ob und wie sie auf die Welt passen, ist nicht mehr ihre Sache« (1854, zit. n. Mehrtens 1990a, 610).

In der Geschichte der mathematischen Formalisierungen im Bereich naturwissenschaftlicher Studien war der Astronom, Physiker und Mathematiker Galileo Galilei (1564–1641/42) einer der ersten uns überlieferten Wissenschaftler, der seine Beobachtungen und Erkenntnisse in der Sprache der Mathematik ausdrückte. Der Himmelsforscher verwendete die Geometrie, um seine Gedanken zu formulieren und seine Betrachtungen niederzuschreiben:

> Die Philosophie [Philosophie steht hier für ›die Wissenschaft‹] steht in diesem großen Buch geschrieben, das unserem Blick ständig offen liegt […]. Aber das Buch ist nicht zu verstehen, wenn man nicht zuvor die Sprache erlernt und sich mit den Buchstaben vertraut gemacht hat, in denen es geschrieben ist. Es ist in der Sprache der Mathematik geschrieben, und deren Buchstaben sind Kreise, Dreiecke und andere geometrische Figuren, ohne die es dem Menschen unmöglich ist, ein einziges Bild davon zu verstehen. (*Il Saggiatore* [1623], zit. n. Behrends 2010, 53)

Galileo ebnete mit seinen Arbeiten den Weg für die Entstehung der physikalischen Naturwissenschaften und die Herausbildung einer mathematischen Sprache.

Die mathematische Disziplin des 17. Jahrhunderts lässt sich grob als Mathematik in der Zeit des Rationalismus charakterisieren. Die wichtigste Triebfeder für diese, als besonders produktiv geltende Periode der Mathematik, ist der von den Naturwissenschaften ausgehende Impuls in Richtung einer anwendungsorientierten Mathematisierung. Ebenfalls grundlegend für die Mathematik des Rationalismus ist eine neue Herangehensweise: Die zunehmend engere Verbindung von Mathematik und Naturerforschung löste sich sukzessive von der Tradition, Naturgesetze durch Verweise auf antike Autoren zu erklären, und schwang sich auf, diese Gesetze durch Experimente, Beobachtungen und Verallgemeinerungen zu belegen. In der Zeit des Rationalismus bringen sich frühkapitalistische Anforderungen an die Mathematik in Stellung und mit ihr die materielle Produktion sowie organisatorische und Verwaltungsbedarfe in der Manufaktur. Ökonomische und politische Emanzipation »gegenüber den feudalen Kräften« (Wussing/Arnold 1989: 150) anstrebend, wandte sich die entstehende besitzende Bourgeoisie den Naturwissenschaften und der Mathematik zu, die ihr »Möglichkeiten zur Steigerung der Produktivität unter den neuen Produktionsverhältnissen eröffnete« (ebd.). Zu den prestigeträchtigsten Mathematiker*innen des Rationalismus gehören Pierre de Fermat, René Descartes, Blaise Pascal, Isaac Newton, Gottfried Wilhelm Leibniz sowie Jacob und Johann Bernoulli.

Die folgende Phase lässt sich als Mathematik des Aufklärungszeitalters beschreiben. Das 18. Jahrhundert zeichnet sich weniger durch eigene neue Ansätze aus, sondern arbeitet an der Vertiefung der Methoden und Theorien aus der Zeit des Rationalismus:

> [D]ie Algebra wurde ausgedehnt und systematisiert, die Grundauffassungen der analytischen Geometrie wurden gefunden, die Zahlentheorie als mathematische Disziplin wurde neu belebt und die Wahrscheinlichkeitsrechnung begann sich als mathematische Disziplin zu formieren. (Ebd., 236)

Ausschlaggebend für die Mathematik des Aufklärungszeitalters ist ihre »unauflösliche Einheit« (ebd., 238), welche die mathematischen Methoden mit anwendungsorientierten Fragen die Natur, den (arbeitenden) Körper, die Welt, das Universum betreffend, eingingen und »ohne die die naturwissenschaftlichen Ergebnisse nicht hätten gefunden werden können« (ebd., 239). Wichtige Vertreter*innen sind unter anderen Émilie du Châtelet, Leonhard Euler, Joseph Louis Lagrange, Gaspard Monge und Pierre Simon Laplace.

Ich denke, also kann ich etwas über die Welt aussagen (Descartes)

René Descartes (1596–1650) gilt als Begründer der modernen Philosophie, die für ihn Mathematik, Philosophie und die Naturwissenschaften in sich vereinigen sollte. Für Descartes war die entscheidende Methode in der Wissenschaft der Zweifel, in seinen Untersuchungen bezweifelte er zunächst alles, was sich irgendwie bezweifeln ließ – das gesamte überlieferte Wissen, die eigenen Sinneseindrücke, selbst die Tatsache, dass er einen Körper besaß –, bis er schließlich bei etwas anlangte, was er nicht bezweifeln konnte, nämlich die Existenz seiner selbst als die eines Denkenden. Auf diese Weise gelangte er zu seiner berühmten Feststellung: »Ich denke, also bin ich.« (Vgl. Capra 1983, 58) Aus dieser dem Zweifel entsprungenen Feststellung ergab sich für Descartes gewissermaßen ein *a priori* geltendes Gesetz, »dass das Wesentliche der menschlichen Natur im Denken liege, und alle Dinge, die wir klar und deutlich denken könnten, seien wahr« (ebd., 57f.). Zu sicherem Wissen gelange man demnach durch Intuition (als eine Vorstellung des reinen und aufmerksamen Geistes) und Deduktion. In Descartes' »›cogito‹ [...] ist der Geist gewisser als die Materie. Das brachte ihn zu der Schlußfolgerung, die beiden seien getrennt und fundamental voneinander verschieden« (ebd., 58). Diese Unterscheidung zweier beim Menschen miteinander wechselwirkender, aber verschiedener Substanzen, von Gehirn und Geist, ist tief in das abendländische Denken eingeschrieben. Dies ist auch der Grund, warum Descartes klassischerweise als Urvater der Hirnforschung angesehen wird. Im Zentrum seiner Überlegungen steht das erkennende Subjekt, »das denkt, und also ist«, das sich aber gleichzeitig von den zu erkennenden Gegenständen seines Interesses abgrenzt. Descartes' philosophisches Vermächtnis bildet die modernen Bedingungen naturwissenschaftlicher Erkenntnisproduktion: die dualistische Trennung zwischen erkennendem Subjekt und zu erkennendem Objekt sowie die Perspektive eines autonomen Subjekts, das sich mithilfe entsprechender Technologien und Methoden den Status einer objektiv agierenden Instanz aneignet. Gleichzeitig beschrieb er die Natur als perfekte Maschine, beherrscht von exakten mathematischen Gesetzen. Descartes verglich alles Lebendige, wie Tiere und Menschen, mit Uhrwerken.

Dass diese cartesianische Trennung als wissenschaftliche Universalanschauung gesetzt und die Methodik von Descartes als einziger Weg zur Erkenntnis akzeptiert wurde, hatte tiefgreifende Konsequenzen für die weiteren Entwicklungen (nicht nur) der wissenschaftlichen Erkenntnisproduktion. Die Kognitionswissenschaftlerin Abeba Birhane konfrontiert die cartesianische Perspektive »Ich denke, also bin ich« in den Neurowissenschaften mit der interdependenten Ubuntuphilosophie, die mit »I become who I am, because I interact« (2017) paraphrasiert werden kann. In ihrem Artikel *Descartes Was Wrong: A Person Is a Person through Other Persons* hinterfragt Birhane kognitive und neurowissenschaftliche Ansätze, die das Gehirn als eine autonome Einheit modellieren, die sich nur auf ihre eigenen Erfahrungen und ihre individuelle Wahrnehmung stützt. Für sie wohnt Descartes' Konzept die Idee inne, dass »the only thing you can be certain of is your own cogito – the fact that you are thinking. Other people and other things are inherently fickle and errati« (ebd.). Damit würden das Gehirn und seine kognitive Entwicklung durch individuelles Wachstum konzipiert, bei dem Kinder und Menschen als einsame Lerner*innen dargestellt werden und für ihren eigenen Erfolg verantwortlich sind. Im Gegensatz zu diesem neurowissenschaftlichen Paradigma fordert Birhane uns auf, die Aussage »I am because we are, and since we are, therefore I am« des in Kenia geborenen Philosophen John S. Mbiti zu berücksichtigen, der diese Ubuntutheorie in seinem Text *African Religions and Philosophy* (1969) zusammenfasst. Descartes' Dualismus ist jedoch bis heute in den Neurowissenschaften allgegenwärtig, und die Zusammenführung beziehungsweise Wiedervereinigung beider ›Substanzen‹ bildet die grundlegende Problematik, die sich für jede neurowissenschaftliche Methodik und Interpretation stellt.

Universelle Sprache und Logik (Leibniz)

Der Philosoph, Mathematiker, Jurist, Historiker und politische Berater Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) war das, was heute gerne anerkennend als Universalgelehrter bezeichnet wird. In den Mittelpunkt seiner theoretischen Überlegungen stellte er die Logik, die für Leibniz eine mechanisch-mathematische ist. Er legte mit dieser Mathematischen Logik die Basis zur Entwicklung einer formalisierenden Sprache, die gleichzeitig minimalistisch wie allumfassend jedwedes Phänomen der physikalischen Welt und des Universums in Zahlen und Gleichungen auszudrücken vermag. Damit hatte Leibniz die auf ihn folgende Formalisierungsgeschichte letztlich vorgedacht. Seine Grundidee war es, die Basis aller mathematischen Bereiche vollständig durchzuformalisieren, rein formale Kalküle zu entwickeln und dieses Programm zur Basis aller Wissenschaften zu machen.

Leibniz als ideologischen Vordenker der heute zu konstatierenden ›Mathematisierung von Wahrnehmung‹ (s. Kap. 5) zu begreifen, gründet auf der spezifischen Art, wie Leibniz in seinen Schriften Logik, Mathematik und Sprache verbindet. Im Folgenden werde ich mich auf das beschränken, was sich heute in der Mathematischen Logik gegenwärtiger neurowissenschaftlicher Forschung als methodologisches Vermächtnis wiederfinden lässt. Das wichtigste Merkmal ist sein Ansatz, Sprache so formalisieren zu wollen, dass sie künftig alles in der Welt Vorkommende beschreiben kann. Er baute sein Programm einer *Mathesis universalis* auf der Überzeugung auf, dass natürliche Zahlen das am besten geeignete Zeichensystem für die Formulierung logischer Zusammenhänge seien, und strebte eine *characteristica universalis* oder auch *lingua characteristica* (allgemeiner Begriff und Zeichensprache) an, zu welcher Leibniz die Mathematik ausweiten wollte. Diese Formalisierung führt zu einer »umgedrehte[n] ›Korrespondenzlogik‹« (Weber 2001, 13). Nicht der menschliche Logos korrespondiert mit den Seinsstrukturen und kann sie deshalb erfassen, sondern die Natur, die mit mathematischen Regeln beschrieben werden kann, folgt den objektiven und zeitlosen Gesetzen der Logik. Die mathematischen Naturgesetze und Logik verschmelzen zu einem Ganzen, nach dessen Regeln auch das menschliche Denken aufgebaut ist, und Logik wird zum Fundament der Natur und des Seins.

Für Leibniz stand die Entwicklung einer formalen Sprache in der Tradition der Logik und des wissenschaftlichen Beweises: So strebte er eine »Algebraisierung der Logik« (Guillaume 1985, 816; Glashoff 2003, 6) an, abgeleitet von der philosophischen Begriffslogik und den Syllogismen. Leibniz hat Zeit seines Lebens an der Entwicklung einer formalen Sprache gearbeitet. Sein Unterfangen, eine universelle, formale Sprache zu entwickeln, musste sich zunächst am Gegenstand der mechanistischen Komplexitätsreduktion oder spezifischer einer Erklärung von aufeinander einwirkenden Kräften messen lassen, die Ideen oder Vorstellungen hervorbringen. Bereits als junger Mensch ersann er in seiner Abhandlung aus dem Jahr 1666, *Dissertatio de arte combinatoria*, ein Alphabet menschlichen Denkens, ein *alphabetum cogitationum humanarum*. Mithilfe eines solchen Alphabets, so Leibniz, könnten Ideen und Beziehungen bis in ihre kleinsten Bestandteile aufgeschlüsselt und nach den Regeln der Logik dargestellt werden. Alle Ideen seien wiederum aus anderen, einfachen Ideen zusammengesetzt, versinnbildlicht und dargestellt durch Zeichen und Symbole. Denken entstehe aus der logischen Kombination dieser einzelnen Ideen. Mit diesen Überlegungen nimmt Leibniz nicht nur seine eigene Monadentheorie (die Monade als kleinste Einheit des Universums) vorweg, sondern verbindet (im Sinne von to connect) Logik mit dem Nachdenken über Denkprozesse und Abläufe im Gehirn.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der *characteristica universalis*, den Leibniz lösen wollte, lag in der Realisierung von Rechenmaschinen und der Umsetzung logischer Abläufe im Sinne mechanisch zu befolgender Regeln, mit denen sich die Wahrheit von Aussagen nachprüfen lässt: Das logische Schließen wird so auf eine Kette von einfachen Schlüssen reduziert. »In einer so formalisierten Wissenschaft und dem richtigen System logischer Regeln kann dann jede präzise formulierte wissenschaftliche Behauptung durch ›Rechnen‹ auf ihre Wahrheit hin geprüft und entschieden werden.« (Glashoff 2003, 6) Dies verlangt nach weiteren Formalisierungen, hierzu gehört neben der Einführung der Differenzialrechnung als Teil der Infinitesimalrechnung (die Leibniz zeitgleich mit Newton erfand und auf die in Kapitel 2 näher eingegangen wird) auch das von Leibniz beschriebene Binärsystem. Mit dem Binärsystem können alle ganzen Zahlen durch die beiden Zahlen 0 und 1 ausgedrückt werden. Das Binärsystem bildet bis heute die Kodierungsgrundlage für spätere Rechenmaschinen und Computer. Leibniz beschreibt das Binärsystem 1697 in einem Brief:

> Die 1 bezeichnet die Einheit oder das Eine, die 0 (*nullum*) bezeichnet das Nichts oder den Mangel an Existenz. Wenn nach pythagoräischer Lehre alles Zahl ist und wenn auch Aristoteles die These diskutiert, daß die Wesen der Dinge Zahlen sind, dann kann das binäre Zahlensystem, in dem alle Zahlen aus 0 und 1 aufgebaut werden, als ein Sinnbild der göttlichen Schöpfung verstanden werden: Gott oder die absolute Einheit erzeugt alles aus dem Nichts. (Zit. n. Breger 2009, 387)

Das von ihm zwar nicht erfundene, aber früh ausgearbeitete und verständlich ausgeführte auf zwei Zahlen basierende Binärsystem enthält das Nichts und Gott – die Null und die Eins. Das, was sich heute in jedem Computer wiederfinden lässt: die Ab- und Anwesenheit von Information. Leibniz ging davon aus, dass Gott alles aus dem Nichts geschaffen habe und alles, was Gott geschaffen hat, gut sei. Die von Gott geschaffene Welt begründe sich auf einer wunderbaren Ordnung und sei die Beste aller möglichen.[1]

Neben diesen großangelegten Entwürfen war sich Leibniz durchaus der Problematik seiner formalistischen Sicht bewusst. So schlug er etwa vor, seine Vorgehensweise zwar für alle Belange in der Wissenschaft anzuwenden, da Strukturen so leichter zu erkennen seien, aber keinesfalls für den Alltag oder die wissenschaftliche Beschäftigung mit Bereichen des Individuellen und der Einzelerscheinung, etwa der Geschichtswissenschaft. Gleiches gilt auch für das Gehirn und seine Gedanken, Ideen und Vorstellungen, die ebenfalls nicht mit einer universellen Sprache berechnet werden können, da sonst ihre Betrachtung nur äußerlich bliebe:

---

1 »Da es aber unter Gottes Vorstellungen eine unendliche Menge möglicher Welten gibt, und doch nur eine einzige davon zur Wirklichkeit gelangen kann, so muß es zu Gottes Wahl einen zureichenden Grund geben, der ihn zu der einen mehr als zu der andern bestimmte.« (Leibniz 1847, § 53)

> Andererseits muß man gestehen, daß die Vorstellungen, und Alles, was von ihnen abhängt, aus mechanischen Gründen, dergleichen körperliche Gestalten und Bewegungen sind, unmöglich erklärt werden können. Man stelle sich eine Maschine vor, deren Structur so eingerichtet sei, daß sie zu denken, zu fühlen und überhaupt vorzustellen vermöge und lasse sie unter Beibehaltung derselben Verhältnisse so anwachsen, daß man hinein, wie in das Gebäude einer Mühle eintreten kann. Dies vorausgesetzt, wird man bei Besichtigung des Innern nichts Anderes finden, als etliche Triebwerke, deren eins das andere bewegt, aber gar nichts, was hinreichen würde, den Grund irgend einer Vorstellung abzugeben. (Leibniz 1847, § 17)

Eine einheitliche mathematische Sprache in den physikalischen Prozessen des Gehirns finden zu wollen, wird immer wieder auch den Neurowissenschaften zum Leitspruch und Antrieb dienen, zunächst im Bereich der, der Linguistik zugerechneten, Neurowissenschaft, später in ihren konnektionistischen und kognitiven Anwendungsfeldern. Leibniz kann als Vordenker einiger Theorien gelten, die sich später in der Kybernetik und den Computational Neurosciences finden lassen. Dazu zählt insbesondere der Grundgedanke einer universellen, in mathematische Symbole eingefassten Sprache sowie deren Implementierung in Rechenmaschinen, die einfachste mathematische Berechnungen für den Menschen übernehmen können. Die leibnizschen Ideen waren konkrete Vorläufer »einer universalen Zeichensprache und deren Verwendung im Rahmen von Algorithmen [und dem] was wir heute zum engeren Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) rechnen würden« (Glashoff 2003, 18).

Naturgesetze lassen sich durch Erfahrungen erkennen (Newton)

Der Physiker, Mathematiker, Astronom und Philosoph Isaac Newton (1643–1727) ging noch einen Schritt weiter und »lieferte eine geschlossene mathematische Theorie der Welt« (Capra 1983, 62). Ausgehend von der physikalischen Kraft der Gravitation, beschrieb Newton allgemeine Gesetze der Bewegung, denen alle Körper im Sonnensystem unterworfen seien. »Er nutzte seine neue mathematische Methode, um die exakten Bewegungsgesetze für alle Körper unter dem Einfluß der Schwerkraft zu formulieren. Die Bedeutung dieser Gesetze lag in ihrer universalen Anwendbarkeit.« (Ebd., 63) Zeitgleich mit Leibniz erfand er eine mathematische Methode, die Differentialgleichung, um die Bewegung fester Körper zu beschreiben.

Für Newton waren Zeit und Raum deterministisch bestimmt, absolut und statisch: Der Raum galt als Hülle für darin enthaltene Planeten, Körper, Masseteilchen, die, gelenkt von unabänderlichen Gesetzen der Bewegung und der Gravitation, eben jenen Raum ausfüllen. Die darin einbegriffene mathematische Zeit ist gleichförmig. Vor Newton gab es grob vereinfacht nur zwei methodische Herangehensweisen in den Naturwissenschaften: die von Bacon vertretene empirische, induktive Methode und die von Descartes begründete rationale, deduktive Methode. Newton wiederum führte eine Verbindung aus beiden Methoden ein,

> wobei er hervorhob, daß weder Experimente ohne systematische Deutung noch eine Deduktion aus allgemeinen Prinzipien ohne experimentelle Grundlage zu einer verläßlichen Theorie führen würden. In seinen systematischen Experimenten ging er über Bacon und in seiner mathematischen Analyse über Descartes hinaus; damit vereinigte Newton beide Trends und entwickelte die Methodologie, auf der seither die Naturwissenschaft beruht. (Capra 1983, 64)

Newtons ›Welt als Maschine‹-Auffassung war streng deterministisch. Das bedeutete für die philosophischen Antworten auf die Frage nach der Funktionsweise menschlichen Denkens, dass dieser Vorstellung ein außerhalb stehender Schöpfer zugrunde liegt. Ohne ihn funktioniert der empirische Materialismus Newtons nicht, denn die die Welt ordnenden Mechanismen sind ›dem Menschen nicht zugänglich‹ und wenn diese Vorstellungszusammenhänge dem Menschen nicht verfügbar sind, »muß es ein höherer Geist sein, von dem sie stammen. Das Gesamt dieser Vorstellungen heißt Natur, ihr Grund ist Gott. Er wirkt, wenn wir denken.« (Hirschberger 1980, 222)

Letztlich entstanden in diesem Gerangel, auf der einen Seite durch die massive Kritik an der philosophischen Metaphysik und auf der anderen Seite durch die Forderung, die physikalische Welt mit empirischen Methoden zu untersuchen, die modernen Disziplinen der Naturwissenschaft. Ein Blick auf die Arbeiten der Mathematikerin, Physikerin und Philosophin Émilie du Châtelet (1706–1749) und ihre Schriften über Leibniz und Newton ermöglicht es, die erkenntnistheoretischen Reibereien, die sich durch die sukzessive Annäherung empirisch geleiteter Wissenschaften an die Philosophie ergaben, nachzuvollziehen. Du Châtelet steht hier exemplarisch für die Zeit und ihre Kolleg*innen (Pierre Louis Maupertuis, Daniel Bernoulli, Leonhard Euler), die Anfang des 18. Jahrhunderts einen bedeutenden Anteil daran hatten, die Mathematisierung der Logik voranzutreiben, indem sie die dafür notwendigen theoretischen Brücken schlugen und die Ansätze Descartes', Leibniz' und Newtons miteinander verbanden.

1.2 Gottesbeweis. Eine formale Universalsprache und Gott – »der unbewegte Beweger«

Die Mathematische Logik nimmt einen wichtigen Stellenwert für die Epistemologie des naturwissenschaftlichen Arguments ein. Gleichzeitig basieren ihre Grundgedanken auf Denkern, die von einer göttlichen Letztinstanz ausgehen, einem »unbewegten Beweger« (Aristoteles). Dieses göttliche, ewige (unendliche) Wesen ist in die Systematisierung von (Natur-)Wissen und in die Naturbetrachtungen eingelassen. Das bedeutete, dass die mathematischen Naturgesetze, nach denen die Welt aufgebaut ist und die es zu finden gilt, letzthin auf Gott zurückzuführen seien. Zugleich ermöglichte die Behauptung allgemeingültiger, sich mathematisch ausdrückender Naturgesetze die sukzessive Verdrängung einer Letztinstanz in den universalen Modellen über das Universum. Leibniz, Newton und Descartes konnten noch auf einen göttlichen Ursprung der Welt verweisen und damit ihre Modelle plausibilisieren. Diese Modelle beinhalten keinerlei Vorstellung von etwas Anfänglichem, von evolutionären Prozessen. In diesen Modellen wirken seit jeher und allgemein gültige Naturgesetze, initiiert von einem Gott, mit dem restlos alles erklärt werden kann.

Bei Descartes lässt sich durch Beobachtung keine wahre Erkenntnis über den Menschen erringen, nur die Sinne Gottes können die Komplexität erfassen. Descartes führte eine dualistische Weltauffassung ein, trennte hierbei auch seine Metaphysik von den Erkenntnismöglichkeiten durch Experimentalsysteme und hielt gleichzeitig an der mediävalen Verbindung von Theologie und Wissenschaft fest. Auch in Leibniz' Metaphysik ist die alles antreibende, regelnde und letztentscheidende Instanz Gott. Das Göttliche, das sich auch in der Welt der Zahlen und der formalen Sprache des Universums, das letztlich all unser Sein bestimmt, verantwortlich zeigt. Newton und mit ihm die englischen Vertreter des aufkommenden Empirismus wollten den Cartesianismus in der Philosophie überwinden und entsagten dieser göttlichen Ordnung – allerdings galten bei Newton nur die physikalischen Vorgänge nicht als göttlich, weshalb diese mit empirischen Mitteln untersucht werden sollten.

Leibniz' Gedankenwelt war zutiefst von seinem Glauben an Gott durchdrungen. In seinen Erklärungen zum Dualsystem (s.o.) und der Begründung seiner Monadenlehre zeigt sich, dass Leibniz die Existenz Gottes als selbstverständlich annahm und zur Grundlage seiner Überlegungen machte. Leibniz war überzeugt, dass sich alle sinnvoll gestellten Fragen durch Rechnen lösen ließen; dies hängt auch mit seiner metaphysischen Vorstellung von Natur zusammen, deren Wirken in ihrer Gesamtheit durch Rechnen erfassbar sei – allerdings braucht es hierfür eine Letztinstanz, also ein göttliches Wesen, das zu unendlich viel komplexeren Berechnungen fähig ist als wir Menschen. Leibniz' Philosophie lag der Kerngedanke einer prästabilisierten Harmonie zugrunde, eine göttliche Verfasstheit, die keinerlei Zufälle im Universum zuließ. Als Beispiel kann hier die Zahl 7 genannt werden: So sei es nach Leibniz kein Zufall, dass diese sehr oft in der Bibel genannt wird und sie gleichzeitig die Binärstellung 111 hat, worin Leibniz einen deutlichen Bezug zur Existenz der Dreieinigkeit sah.

In seiner Monadologie entwirft Leibniz eine Theorie der Welt, deren Wesensart auf der Existenz kleinster Teilchen, eben den namensgebenden Monaden, beruht. Dreh- und Angelpunkt der Monadologie stellt die Letztinstanz eines Gottes dar, der allein dem System Antrieb und Bedeutung gibt und erklärt, warum es ›auf der Welt ist‹. Insbesondere hier zeigt sich das Dilemma, einerseits kleinste, freie Entitäten anzunehmen und andererseits diese in einem göttlichen Determinismus unterzubringen. Es wird deutlich, dass die Formalisierung und Universalisierung von Sprache nur in einem Theoriegebäude funktioniert, in dem es immer eine Letztinstanz, einen göttlichen Plan gibt, über den sich Abläufe, Prozesse, Veränderungen etc. erklären lassen. Die Monadologie argumentiert nicht evolutionär, sondern religiös, Monaden wurden ›aus dem Nichts‹ von Gott erschaffen und ihr Bewusstsein erklärt sich aus dem Vorhandensein einer höheren Instanz, die die ethisch-moralischen Bedingungen schafft (bei Leibniz ist dies die bestmögliche Welt). Das erkenntnistheoretisch höchst bedeutsame Konzept ursächlicher Zusammenhänge – Überlegungen zu Ursache und Wirkung – wird in dieser idealen, deterministischen Welt zu nur vermeintlichen Ursachen und Wirkungen. Denn wenn sich die Monaden in einem in sich geschlossenen System (geradezu im Sinne der Systemtheorie, ein Zusammenhang, der an anderer Stelle erörtert werden muss) befinden, die ohne eigenes Agens von einer Letztinstanz geformt, erschaffen und gelenkt werden, bedeutet dies für die Logik, dass Ursache und Wirkung eigentlich keine sind, sondern »die Gottheit muß ihre besonderen Gründe gehabt haben, sie an beiden Monaden gerade so eintreten zu lassen, daß wir auf die Vermuthung gelangen, die Eine sei die Ursache der Anderen« (Zimmermann über Leibniz' Monadologie 1847, 32).

1.3 Metaphysik und Materialismus: erkenntnistheoretische Aushandlungen

Die Zeit der newtonschen und generell der mechanischen Weltanschauung fand ihr Ende durch die Entdeckung der Evolution. Mit dem Gedanken einer Entstehungsgeschichte, in der die Welt und der Mensch nicht einfach da sind, wird die rein göttliche Genese eines statisch-mechanischen Universums unglaubwürdig. Dem Evolutionsgedanken – der zwar von Darwin seinerzeit aufgeschrieben und berühmt gemacht wurde, aber als Idee einigen seiner Kolleg*innen bereits präsent war – kommt ein nicht zu unterschätzender Wert für die weiteren wissenschaftlichen Überlegungen zu. Nun musste man das Universum als ein sich entwickelndes und ständig sich änderndes System beschreiben, in dem sich komplexe Strukturen aus einfacheren Formen bilden. (Capra 1983, 73) Die sukzessive Säkularisierung der Wissenschaft verabschiedete sich von der Vorstellung einer vom Schöpfer geschaffenen Natur, ersetzte diesen durch das Naturganze selbst, etwas Übersinnliches, das der empirischen Vermessung verborgen blieb, und ließ so ein »spirituelle[s] Vakuum zurück, das so charakteristisch für den Hauptstrom unserer Kultur geworden ist« (ebd., 66). Bereits in den Anfängen des empirischen Materialismus zeigt sich das Problem, dass der Empirismus die Komplexität der physischen Realität nicht einfangen kann. Denn durch die Säkularisierung fehlte eine Letztinstanz, die in den Modellen der Welt Prozesse anstößt, Sinn stiftet, wo nicht unbedingt Sinn zu erkennen ist. Das so entstandene Vakuum sollte über die Zahl, in der die ewige Ordnung – 0 ist das Nichts und 1 das göttliche Alles – noch mitschwingt, gefüllt werden.

Die entlang der Neuausrichtung wissenschaftlicher Methoden geführten Kontroversen im Europa des 17. und frühen 18. Jahrhunderts handelten wichtige Fragen erkenntnistheoretischer Möglichkeiten über Naturerkenntnis aus. Dass es hierbei zu länderspezifischen Spielarten dieser gleichsam in eine Richtung weisenden Entwicklung kam, beschreibt Heinrich Heine in seinem Werk *Zur Geschichte der Religion und der Philosophie* aus dem Jahr 1843 prägnant und leicht humoristisch. Ausgehend von der Annahme, dass Descartes die Ehre gebührt, »die Autonomie der Philosophie gestiftet zu haben« (55), schlussfolgert er weiter über das Verhältnis von Idealismus und Materialismus:

> Deutschland hat von jeher eine Abneigung gegen den Materialismus bekundet und wurde deshalb während anderthalb Jahrhunderte der eigent-

> liche Schauplatz des Idealismus. Auch die Deutschen begaben sich in die Schule des Descartes und der große Schüler desselben hieß Gottfried Wilhelm Leibniz. Wie Locke die materialistische Richtung, so verfolgte Leibniz die idealistische Richtung des Meisters. [...] Ist sie gelöst worden? Nein, wahrhaftig nein! Denn diese Aufgabe ist eben nichts anders als eine Schlichtung des Kampfes zwischen Idealismus und Materialismus. (Heine 1981, 59f.)

Wo Heine einen Kampf zwischen Idealismus und Materialismus sieht, beschreiben Karl Marx und Friedrich Engels die Zeit, in der die Wissenschaften von der Theologie befreit werden mussten und sich die empirischen Naturwissenschaften herausbildeten, als »offenen Kampf gegen die Metaphysik« (1845, 2):

> Die Metaphysik war im 17. Jahrhundert (man denke an Descartes, Leibniz etc.) noch versetzt mit positivem, profanem Gehalte. Sie machte Entdeckungen in der Mathematik, Physik und andern bestimmten Wissenschaften, die ihr anzugehören schienen. Schon im Anfang des 18. Jahrhunderts war dieser Schein vernichtet. Die positiven Wissenschaften hatten sich von ihr getrennt und selbständige Kreise gezogen. Der ganze meta-physische Reichtum bestand nur noch in Gedankenwesen und himmlischen Dingen, grade als die realen Wesen und die irdischen Dinge alles Interesse in sich zu konzentrieren begannen. (Ebd., 55)

Die »Metaphysik war fad geworden« (ebd.), an ihre Stelle hatten sich andere erkenntnistheoretische Erklärungen gesetzt. Durch die theoretischen und vor allem empirischen Erneuerungen im Zusammenschluss von Mathematik und Physik, erwuchs die moderne Naturwissenschaft mit ihrer auf Daten beruhenden, induktiven Methodik, deren Verständnis von wissenschaftlicher Erkenntnis von da ab wegweisend wird.

In der induktiven Methodik spielt der mathematische Beweis, im engeren Sinn von Ableitung beziehungsweise ›logischer‹ Herleitung zu verstehen, eine zentrale Rolle. Der Beweis ist ein wesentliches Kriterium für die Objektivität der Mathematik, die richtige Beweisführung wird zum »gold standard of mathematical achievement in the West.« (Hacking 2014, 21) Ian Hacking führt weiter aus:

> Philosophically speaking, the special status of mathematics seems to derive from its peculiar epistemology, which appears to be linked to a special technique, mathematical proof. While all sciences justify their results,

> only a few sciences claim to prove their results; among those, mathematics alone uses mathematical proof, which conveys to its results the characteristic mathematical objectivity that other sciences lack. (Ebd., 59)

Der Philosoph Ludwig Wittgenstein beschreibt die Mathematik als ein »buntes Gemisch von Beweistechniken« (1989, 178, § 46) und verweist auf den epistemischen Einfluss mathematischer Herleitungen auf die im Beweis verwendeten Begriffe, da in gewisser Weise neue Begriffe und neue Kriterien für die Anwendung eines Begriffs geschaffen werden. Der Philosoph und Wissenschaftshistoriker Ian Hacking arbeitet aus einer Vielzahl von Beweistypen zwei grundlegende heraus und benennt Leibniz und Descartes als deren originäre Vertreter. Der ›cartesische‹ Beweis verlangt nach kurzen, übersichtlichen Beweisen, eine dem ›Aha-Erlebnis‹ nahekommende klare Einsicht, die durch einige wenige Argumente herbeigeführt werden kann. Damit ging für ihn auch ein klar umrissenes Konzept des Beweises einher. Leibniz hatte einen starken Wunsch nach Wahrheit und der mathematische Beweis war für ihn der Weg, um zu dieser zu gelangen, für ihn mussten mathematische Herleitungen abgeleitet und Schritt für Schritt erlangt werden: »Contingent truths have infinitely long proofs, […]. Leibniz was well aware that the mechanical checking of such a proof, in order to be sure every step is in order, is beyond the patience and perhaps the ability of human beings.« (Hacking 2014, 24) Zum Zwecke der mathematischen Beweisführung wollte Leibniz Rechenmaschinen entwickeln, die diese langwierige Aufgabe übernehmen können. Die Praxis des mathematischen Beweisens hat sich durch Leibniz und Descartes geändert. Mit dem Einsatz von Computern veränderte sie sich ein weiteres Mal. Durch die mechanisch-mathematische Verfasstheit des Beweisens mithilfe von Computern wurde Leibniz' Vision reaktiviert:

> Experimental mathematics – not just proof-checking but also mathematical exploration by computer – can be seen as a lineal descendant of Leibniz's imagination. So can the simulation of the real world by computer, an absolutely standard practice in almost all the sciences, but one with which philosophers are only beginning to come to terms. Although I assert that the branching of the ways, between cartesian and leibnizian proof, appears in the seventeenth century, it was, like so many of Leibniz's speculations, not significant until fairly recently. (Ebd., 24)