

Wissenschaft und Philosophie
Science and Philosophy · Sciences et Philosophie

Jürgen Jost

Leibniz und die moderne Naturwissenschaft

 Springer

Wissenschaft und Philosophie

Science and Philosophy • Sciences et Philosophie

Reihe herausgegeben von

Jürgen Jost, Geometrische Methoden und Komplexe Systeme, Max-Planck-Institut für
Mathematik in den Naturwissenschaften, Leipzig, Deutschland

Martin Carrier, Institute for Interdisciplinary Studies of Science (I²SoS),
Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Die Reihe will den Dialog und die konstruktive Auseinandersetzung zwischen Wissenschaft und Philosophie fördern. Diesem Ziel nähert sie sich von beiden Seiten: Zum einen sollen die Implikationen wissenschaftlicher Ergebnisse und Theorien für das philosophische Denken erkundet werden. Zum anderen soll eine philosophische Durchdringung und Analyse wissenschaftlicher Problemlagen, Konzepte und Theorien erreicht werden. Dabei werden verschiedenartige philosophische Ansätze verfolgt. Die Naturwissenschaften und die Mathematik werden besonders in den Blick genommen, aber die Reihe ist auch für andere Themenfelder offen.

Die Bände dieser Reihe versuchen, originelle Ideen und systematische Ansätze zu entwickeln, neue Lösungsversuche zu explorieren und allgemein souveränes und kritisches Denken zu fördern. Deshalb soll der Text bewusst für einen größeren Leserkreis verständlich sein, nicht nur für Fachleute.

The series aims to encourage a dialogue and a constructive debate between science and philosophy. It approaches this goal from both sides: On the one hand, the implications of scientific results and theories for philosophical thinking will be explored. On the other hand, a philosophical penetration and analysis of scientific problems, concepts and theories is intended. In this endeavour, different philosophical approaches are pursued. While the main focus is on the natural sciences and mathematics, the series is also open to other topics.

The volumes in this series seek to develop original ideas and systematic approaches, to explore new paths, and to generally promote independent and critical thinking. Therefore, the text should be understandable for a larger readership, not only for experts.

Cette série vise à encourager un dialogue et un débat constructif entre la science et la philosophie. Les perspectives de ces deux disciplines sont considérées tour à tour pour approcher cet objectif: d'une part, il s'agit d'explorer les implications des résultats scientifiques et théoriques pour la pensée philosophique. D'autre part, une considération philosophique et une analyse des problèmes, concepts et théories scientifiques sont réalisées. Différentes approches philosophiques sont abordées. Les sciences naturelles et les mathématiques sont particulièrement prises en compte, toutefois la série reste ouverte à d'autres sujets.

Les volumes de cette série tentent de développer des idées originales et des approches systématiques, d'explorer de nouvelles solutions et de promouvoir, d'une manière générale, un mode de pensée indépendant et un sens critique. Par conséquent, le texte devrait être compréhensible pour un plus grand nombre de lecteurs, et non pas seulement pour les experts.

Jürgen Jost

Leibniz und die moderne Naturwissenschaft

 Springer

Jürgen Jost
Geometrische Methoden und Komplexe Systeme
Max-Planck-Institut für
Mathematik in den Naturwissenschaften
Leipzig, Deutschland

ISSN 2524-7549 ISSN 2524-7557 (electronic)
Wissenschaft und Philosophie • Science and Philosophy • Sciences et Philosophie
ISBN 978-3-662-59235-9 ISBN 978-3-662-59236-6 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-59236-6>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Annika Denkert

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorspann

Es gibt nicht unbeträchtliche Schwierigkeit bei meinem Versuch, mich Leibniz aus der Perspektive eines heutigen Naturwissenschaftlers zu nähern. Als Mathematiker liest man einen Text üblicherweise nicht unter dem Gesichtspunkt philologischer Genauigkeit, sondern versucht, die Leitgedanken zu erfassen und dann aus diesen Leitgedanken heraus die Einzelheiten selbständig zu rekonstruieren. Wenn das gelingt, hat man als Mathematiker einen Text verstanden. Und wenn man sich auf diese Weise einem älteren Autor nähert, so liest man sein Werk rückwärts, als eine mehr oder weniger geradlinige Entwicklung zu den Erkenntnissen des reifen Werkes. Ein solcher Zugang hat natürlich keinen Blick dafür, dass ein Philosoph seine Ansichten im Laufe seines Werkes ändern kann. Dass es vor dem kritischen Kant noch den vorkritischen Kant gegeben hat, mag man vielleicht noch hinnehmen. Dass aber Leibniz in seiner mittleren Periode Konzeptionen entwickelt hat, die dann im Spätwerk teilweise wieder aufgegeben oder systematisch verändert worden sind, ist für einen solchen Zugang schon schwerer zu akzeptieren.

Nun ist Leibniz allerdings ein großer Systematiker, neben Aristoteles vielleicht der größte, und daher mag ein systematischer Zugang nicht schon vom Ansatz her verfehlt zu sein, sondern kann vielleicht sogar wichtige Zusammenhänge erschließen, die aus einer isolierten Lektüre von Texten zu einem bestimmten Themenbereich nicht so leicht gewonnen werden können. Dabei war Leibniz zwar ein systematischer Denker, hat aber sein System niemals in einer großen Synthese dargestellt. Daher bleibt vielleicht gar nichts anderes übrig, als zu versuchen, Zusammenhänge zu rekonstruieren.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, das Leibnizsche System von einem seiner Enden oder Teile her zu erfassen, physikalisch, mathematisch, logisch, metaphysisch, theologisch, juristisch ... Meiner Ansicht nach verfehlt dies aber gerade einen, wenn nicht den wesentlichen Zug seines Denkens, nämlich all diese Zugänge zu einer höheren Einheit zu verweben, in welcher keiner von ihnen mehr die Priorität oder den Vorzug besitzt.

Eine weitere Gefahr besteht darin, vom heutigen Erkenntnisstand aus Einsichten in Leibniz hineinzulesen, die er noch nicht besessen hat und vielleicht auch noch gar nicht hat besitzen können. Dies lässt sich allerdings auch positiv wenden, insofern als manchmal erst von unserem Erkenntnisstand aus erkennbar wird, welche Einsichten schon im Keim in seinem Werk angelegt waren.

Die Antworten, die Leibniz gibt, ändern sich im Laufe seines Lebens, wie dies beispielsweise in den bedeutenden Untersuchungen von De Risi [61] und Garber [96] ausgearbeitet ist und wie man auch in den wissenschaftlichen Biographien von Aiton [2] und Antognazza [5] nachvollziehen kann. Es erscheint daher nicht angemessen, ein Leibnizisches System (re)konstruieren zu wollen, aber die fundamentalen Fragen, mit denen er gerungen und die er oft als erster identifiziert oder in ihrer Tiefe ausgelotet hat, bleiben die gleichen. Und diese Fragen bleiben auch für die heutige Naturwissenschaft relevant, auch wenn sich natürlich nicht nur das Spektrum der Antworten, sondern auch der Kontext der Fragen gegenüber den Leibnizischen Versuchen verschoben hat.

Auch wenn sich die Leibnizischen Ansichten entwickelt und verändert haben, durchzieht sein Werk doch eine bemerkenswerte innere Konsistenz. Es wird durch einige fundamentale Prinzipien geleitet, wie den Satz vom zureichenden Grunde, das Kontinuitätsprinzip oder die Energieerhaltung, die miteinander verwoben sind oder werden, und in grandioser Weise Logik und rationales Denken, Mathematik, Physik, Philosophie und Theologie miteinander verknüpfen. Einerseits ist diese innere Konsistenz nun eine großartige intellektuelle Leistung, aber andererseits wird auch das ganze Gedankengebäude bedroht, wenn sich an einer Stelle ein Problem oder eine Inkompatibilität mit der physikalischen Wirklichkeit ergibt.

Es ist aber weniger das Ziel der nachfolgenden Analyse, Probleme oder Bruchstellen in Leibniz' System zu identifizieren und herauszuarbeiten, auch wenn die Analyse einige derartige Schwierigkeiten zutage fördern wird. Vielmehr soll ein umfassendes und kohärentes System in all seinen ineinandergreifenden Teilen und Aspekten nicht de-, sondern rekonstruiert werden. Die Gefahr, dass dies vielleicht weniger eine Rekonstruktion als eine Neu- und vielleicht sogar eine Fehlkonstruktion ergeben wird, ist schon benannt worden.

Es wird also im Nachfolgenden ein fiktiver Leibniz geschaffen. Dabei ist es nicht mein Ziel, einen Strohhalm zu konstruieren, den ich dann triumphierend in Flammen aufgehen lassen kann, eine Porzellanfigur, die ich in tausend Stücke zerschlagen kann, oder eine Wachsgestalt, die unter meinen wuchtigen Schlägen nachgibt, sondern ich will einen Felsen in die Brandung der heutigen wissenschaftlichen Diskussion werfen, um zu sehen, welche ihrer Wellen sich an ihm brechen, welche über ihn hinwegspülen und welche ihn vielleicht sogar in ihren Strudel mitreißen.

Der Anlass dieses Werkes war ein Vortrag, den ich auf der Novembersitzung 2016 der Mainzer Akademie der Wissenschaften und der Literatur gehalten habe, um an Leibniz' 300. Todestag zu erinnern. Ich danke der Mainzer Akademie für diese Anregung, mich aus der Perspektive eines heutigen Naturwissenschaftlers mit dem Werk von Leibniz auseinanderzusetzen. Das vorliegende Werk ist natürlich wesentlich umfangreicher als das ursprüngliche Vortragsmanuskript – welches auch schon erheblich mehr Material enthielt, als ich tatsächlich vortragen konnte –, denn die Beschäftigung mit Leibniz hat für mich eine ungeheure Eigendynamik entfaltet.

In dem Abschn. 10.2 muss ich, um das Problem des absoluten Raumes, eines wesentlichen naturphilosophischen Streitpunktes zwischen Leibniz und Newton, aus der heutigen Erkenntnislage heraus fundiert behandeln zu können, auch die mathematischen Grundlagen der Allgemeinen Relativitätstheorie entwickeln. Dieser Abschnitt ist also mathematisch gehalten, was nicht allen Leserinnen und Lesern behagen wird. Da spätere Kapitel sich aber nicht mehr auf diesen Abschnitt beziehen werden und auch der das Kap. 10 beschließende Abschnitt wieder verbal gehalten ist, kann man den genannten Abschnitt notfalls auch überschlagen. Schließlich richtet sich dieses Buch an alle Personen, die an dem leibnizischen System oder allgemein an naturphilosophischen Fragestellungen interessiert sind.

Für die nachstehenden Ausführungen ist in vieler Hinsicht wesentlich, was ich von verschiedenen Freunden und Kollegen gelernt habe, durch ihre ausführlichen Antworten auf meine Fragen, aber auch umgekehrt durch ihre Einwände und Fragen, die sie an mich gerichtet haben. Ich möchte hier insbesondere Maria Rosa Antognazza, Richard Arthur, Martin Carrier, Vincenzo De Risi, Daniel Garber, Gottfried Gabriel, Stephan Luckhaus, Massimo Mugnai, Donald Rutherford, Justin Smith, Pirmin Stekeler-Weithofer, Wolfgang Wahlster nennen. Auch den viele Themen berührenden Diskussionen mit meinem verstorbenen Freund Olaf Breidbach habe ich wesentliche Einsichten zu verdanken. Sicherlich werden die Genannten keineswegs mit allem, was nachfolgend steht, übereinstimmen, und sie sind vor allem auch nicht für meine sachlichen Fehler verantwortlich.

Aus den vorstehend benannten Gründen hat dieses Werk sicher seine Mängel. Nun ist mir aber unversehens die Beschäftigung mit dem leibnizischen Denken zu einem Panorama der heutigen Naturwissenschaft geworden. Und da ich in den dargestellten Bereichen, von der Mathematik und der theoretischen Hochenergiephysik über Evolutions- und Molekularbiologie bis hin zu den Neurowissenschaften und der Psychologie, selber als aktiver Forscher tätig gewesen bin und auch konzeptionelle Aspekte mit führenden Vertretern der jeweiligen Disziplinen diskutiert habe, glaube ich, dass ich nicht nur den derzeitigen Forschungsstand besser überblicke, sondern auch tiefer in manche konzeptionelle Grundfragen eingedrungen bin als die meisten Naturphilosophen. Umgekehrt hat meine Beschäftigung mit dem leibnizischen Denken mir hoffentlich auch zu neuen Einsichten in einige dieser Fragestellungen verholfen, die über das hinausgehen, was die jeweiligen Fachspezialisten einsehen. Dies möge dem Buch seinen Sinn verleihen.

Inhaltsverzeichnis

1	Leibniz' System	1
2	Verortung	13
3	Begriffe, Modelle und Strukturen	23
4	Materie	27
5	Dynamik	33
6	Raum und Geometrie	43
7	Das Kontinuum	49
7.1	Das Problem des Kontinuums in der modernen Physik	51
7.2	Relativität und Ähnlichkeit	54
7.3	Das Diskrete und das Kontinuierliche	56
8	Logik	59
8.1	Syllogistik	62
8.2	Begriffslogik als Algebra	64
8.3	Prädikatenlogik	68
8.4	Relationen	69
8.5	Satzlogik und die Semantik möglicher Welten	69
8.6	Existenz	72
9	Strukturelles Denken und mathematische Symbolik	73
10	Beziehungen zwischen Entitäten und die Relationalität des Raumes	77
10.1	Kompossibilität, Gleichzeitigkeit und die relativistische Struktur der Raum-Zeit	77
10.2	Die konzeptionellen und mathematischen Grundlagen und Aussagen der Allgemeinen Relativitätstheorie	81
10.2.1	Der Minkowskiraum	83

10.2.2	Differenzierbare Mannigfaltigkeiten	88
10.2.3	Transformationsregeln: Invarianz, Kovarianz und Kontravarianz	90
10.2.4	Riemannsche Metriken	93
10.2.5	Allgemeine Relativitätstheorie	96
10.2.6	Partielle Differentialgleichungen	99
10.2.7	Singularitäten der Raum-Zeit	104
10.3	Gleichzeitigkeit und Bewegung	105
11	Mögliche Welten	107
11.1	In welchem Sinne existieren mögliche Welten?	107
11.2	Mögliche Welten und kosmologische Spekulationen	108
11.3	Mögliche Welten und die Interpretation der Quantenmechanik	110
12	Kausalität	113
12.1	Kontingenz und Kausalität	113
12.2	Wirk- und Finalursachen	115
13	Biologie	119
13.1	Die mendelschen Gene als kombinatorische, zufällig veränderliche Bausteine	121
13.2	Grundlegende Konzepte der Biologie	125
13.3	Ein neuer Ansatz einer biologischen Systemtheorie	130
14	Zeit	137
14.1	Periodische, entropische und evolutionäre Zeit	137
14.2	Erlebte und geplante Zeit	139
14.3	Komplexe Zeit und Physik	141
15	Hirnforschung und Kognitionstheorie	143
15.1	Das Bewusstsein als Gegenstand der Philosophie	143
15.2	Zur heutigen philosophischen Diskussion des Bewusstseins	146
15.3	Das Gehirn als Träger des Geistes	151
15.4	Noch einmal zu Leibniz	156
16	Schluss	159
	Anhang A: Zur Literatur	163
	Anhang B: Die Schriften von Leibniz	165
	Literatur	167
	Stichwortverzeichnis	177



Leibniz gründet sein System auf einige allgemeine Prinzipien

- Satz von der Identität (Satz vom Widerspruch)
- Satz vom zureichenden Grunde
- Kontinuitätsprinzip

Der Satz von der Identität ist das operationale Prinzip der leibnizschen Logik. Ein Subjekt ist durch seine Prädikate festgelegt, und ein ontologisches Subjekt, in der Terminologie und Begriffsbildung des Spätwerkes eine Monade, trägt zu jedem Zeitpunkt seine Vergangenheit und Zukunft in sich, ist also in seiner Entwicklung determiniert. Nach dem Satz von der Identität ist das Beweisbare wahr. Der Satz vom zureichenden Grunde gründet auf dem umgekehrten Postulat, dass das Wahre auch beweisbar ist, dadurch dass sein Grund (zumindest prinzipiell) angebar ist. Nach dem Satz vom zureichenden Grunde ist das nicht Unterscheidbare identisch. Es gibt weder Axiome, denn alles lässt sich analytisch aus Definitionen herleiten, noch Naturkonstanten, da deren spezifische Werte nicht begründbar sind, noch Atome, da diese innerlich gleichartig und damit nicht voneinander unterscheidbar und somit alle identisch sein müssten. Die Natur ist in Raum und Zeit kontinuierlich; sie macht keine Sprünge, denn nur das Stetige kann durch Integration, also mit den Mitteln der leibnizschen Infinitesimalrechnung, aus dem Infinitesimalen gewonnen werden, und nur dies garantiert die Determiniertheit des Naturverlaufs.

Allerdings kann, wie Leibniz gegen Descartes argumentiert, nicht die Ausdehnung das konstitutive Prinzip physikalischer Körper sein, und eine fortgesetzte Unterteilung des Raumes führt in eine kantische Antinomie. Daher muss die Welt aus selbst nicht mehr räumlich zu fassenden körperlichen Substanzen konstituiert sein, die im Spätwerk dann zu Monaden werden.

In diesem Monadenbegriff bringt Leibniz auch eine sehr tiefe Beziehung zwischen Logik und Metaphysik zum Ausdruck. Leibniz sieht ein Problem in reinen Nominaldefinitionen,

wenn diese nicht die Möglichkeit des so Definierten sicherstellen. Auf diese Problematik wird er durch seine Analyse des cartesischen Gottesbeweises geführt; Descartes hatte in der Nachfolge von Anselm von Canterbury Gott als das höchste Wesen definiert, dem deswegen insbesondere auch das Prädikat der Existenz zukommen müsse. Leibniz wendet hiergegen ein, dass die Widerspruchsfreiheit einer solchen Definition nachgewiesen werden müsse, was Descartes aber unterlassen habe. Er fordert stattdessen sog. Realdefinitionen, die die Möglichkeit des Definierten erweisen. Hier besteht eine Beziehung zu dem leibnizischen Argument, dass nur das wirklich sein könne, was kompossibel, widerspruchsfrei miteinander verträglich sei, und in seinem unten noch zu besprechenden Optimalitätsprinzip wird postuliert, dass das maximal Kompossible das Wirkliche sei. Eine wichtige Möglichkeit einer Realdefinition besteht in einer kausalen oder generativen Definition, die ein inneres Konstruktionsprinzip abgibt, so wie das Entwicklungsgesetz einer mathematischen Folge oder Reihe in der Infinitesimalrechnung. Ein zentrales Element des leibnizischen Monadenbegriffs ist es nun gerade, dass jede Monade ihr eigenes Entwicklungsgesetz in sich trägt.

Weil die einzelnen Subjekte, die Monaden, schon in sich selbst bestimmt sind, sind die Relationen zwischen ihnen ideal. Diese Relationen konstituieren den Raum, der daher als ein Geflecht von Relationen nicht unabhängig von den Substanzen existiert und somit relativ ist. Insbesondere ist in dieser Konzeption die Vorstellung eines leeren Raumes widersinnig, und dies ist ein weiterer Grund, warum es für Leibniz keine Atome geben kann. Die newtonsche Vorstellung einer Gravitation, die über den leeren Raum hinweg wirkt, ist absurd. Zwar hat die Physikgeschichte in gewisser Weise Leibniz' Einwänden gegen die newtonschen Konzepte recht gegeben, aber seinerzeit setzte sich die newtonsche Theorie als das Paradigma einer einheitlichen mathematischen Beschreibung der Erscheinungswelt durch, nachdem vor allem Euler sie mit den Werkzeugen der leibnizischen Infinitesimalrechnung, welche der konkurrierenden newtonschen Version insbesondere wegen ihres besser durchdachten Formalismus überlegen war, mathematisch durchgebildet hatte.

Leibniz versuchte auf seiner relationalen Raumvorstellung eine neuartige Raumlehre, seine *Analysis situs*, aufzubauen, eine Vorform der heutigen mathematischen Disziplin der Topologie, wobei ihm selber allerdings noch keine konkrete Ausgestaltung gelang.

Und die grundlegenden physikalischen Objekte, die körperlichen Substanzen, die dann im Spätwerk im Monadenbegriff aufgingen [107], sind selbst nicht mehr räumlich, und insbesondere im Unterschied zu Descartes nicht durch ihre Ausdehnung bestimmt, sondern durch ihre innere Wirkkraft, die leibnizische *vis viva*, bestimmt, in heutiger Terminologie ihre Energie. Physikalisch sind sie daher als Kraftquellen zu denken, also durch ein anderes Prinzip als dasjenige der räumlichen Ausdehnung, denn nur durch ihre innere Kraft können sie physikalische Wirkung entfalten. Im grundlegenden Unterschied zur newtonschen Physik werden für Leibniz physikalische Körper nicht durch äußere Kräfte getrieben, sondern durch ihre innere Energie bewegt.

Und da nach dem Satz vom zureichenden Grunde es keine Wirkung ohne Ursache geben kann und daher die Wirkung stets gleich der Ursache sein muss, bleibt diese Energie erhalten. Mit diesem Prinzip, welches eine der fundamentalen Einsichten in der Geschichte der Physik

darstellt, und der dahinter stehenden Konzeption von Raum und Materie, stellt sich Leibniz sowohl gegen Descartes als auch gegen Newton. Gegen die cartesische Reduktion der Materie auf Ausdehnung wird eine im Inneren dynamische Natur der Materie postuliert, die in ihrer *vis viva* zum Ausdruck kommt. Gegen das newton-lockesche Prinzip, dass die Phänomene das Gegebene und die Prinzipien das Gesuchte sind, werden physikalische Phänomene aus Prinzipien abgeleitet. Dass Newton mit seinem Konzept des absoluten Raumes selbst seiner Gravitationstheorie ein wesentliches Prinzip zugrunde legt, und dass der spektakuläre Erfolg seiner Erklärung der Phänomene die Problematik dieses Konzeptes trotz der leibnizschen Einwände lange Zeit verdrängt hat, steht auf einem anderen Blatt, wird aber unten im Kap. 6 natürlich noch aufgegriffen.

Ein wesentliches Ziel der Naturphilosophie des 17. Jahrhunderts und insbesondere auch derjenigen Leibniz', und wohl der grundlegende Unterschied zur Philosophie der Scholastik, ist die theoretische Begründung und formale Erfassung eines einheitlichen und in sich kausal geschlossenen Wirkungszusammenhangs der Welt. Da aber für Leibniz die Relationen zwischen den Substanzen ideal sind – und übrigens auch nicht besonders erfolgreich durch die leibnizsche Logik von Subjekt und Prädikaten erfassbar sind, so die Kritik von Russell [208] an Leibniz' System –, muss die Abstimmung auf andere Weise, durch die leibnizsche prästabilierte Harmonie, erfolgen. Jede Monade spiegelt in sich das gesamte Universum wieder, oder genauer zu jedem Zeitpunkt dessen gegenwärtigen Zustand. Insofern drückt jede Monade die ganze Welt aus, enthält eine *repraesentatio mundi*, eine Darstellung der Welt. Diese Widerspiegelung ist mehr oder weniger unvollkommen, verworren, aber weil die gleichzeitig existierenden Monaden miteinander kompatibel sein müssen, ergibt sich die universelle Harmonie des Weltzusammenhangs. Jede Monade trägt ihr eigenes Entwicklungsgesetz in sich, ihre Vergangenheit und ihre Zukunft, ist aber auf diese Weise mit dem gesamten Weltgeschehen verknüpft. Es ergibt sich ein dialektisches Wechselspiel zwischen der individuellen Substanz und dem Weltganzen, siehe [118, 119, 154]. Die aktive Kraft der Substanz treibt ihre eigene Entwicklung voran, während ihre passive Kraft die Einflüsse aller anderen aufnimmt.

Hier stoßen wir auf einen Punkt, in welchem die Theorie von Leibniz entgegengesetzt zu derjenigen von Kant ist, und für die heutige, durch Kant geprägte philosophische Interpretation kann dies durchaus verwirrend sein. Für Kant war das Ding an sich kausale Ursache der Wahrnehmung, kann aus dieser aber nicht erschlossen werden. Für Leibniz dagegen war das Wissen über das Ding an sich gegeben, drückte sich aber nicht kausal in der Wahrnehmung aus. Das System der Perzeptionen ist für Leibniz nur eine Erscheinung, aber eine wohlbegründete, ein *phaenomenon bene fundatum*.¹

Diese Abstimmung zwischen den Monaden vollzieht sich also nicht direkt physikalisch kausal, sondern ideal. Und sie vollzieht sich instantan, und insbesondere nicht wie in der Einsteinschen Relativitätstheorie mit endlicher Geschwindigkeit. Die prästabilierte Harmonie

¹Der leibnizsche Begriff der Perzeption ist aber allgemeiner als das zu verstehen, was im heutigen Sprachgebrauch mit Wahrnehmung bezeichnet wird. Perzeption ist eine allgemeine Fähigkeit von Monaden.

zeichnet dabei die wirkliche Welt vor den möglichen aus. In einer Welt können nur logisch miteinander verträgliche, kompossible Objekte gleichzeitig existieren. Unsere wirkliche Welt ist dann durch das Optimalitätsprinzip ausgezeichnet, dass in ihr die größtmögliche Anzahl miteinander verträglicher Objekte, oder genauer, Monaden, verwirklicht ist. Vorgänge vollziehen sich in dieser Welt nach dem Extremalprinzip der kleinsten Wirkung, wobei Leibniz wieder eine wichtige Entdeckung der Naturphilosophie und Mathematik des 18. Jahrhunderts vorweggenommen hat, das Aktionsprinzip von Maupertuis und Euler, welches dann zusammen mit der Energieerhaltung zu einem der Grundpfeiler der modernen Physik geworden ist.² Dies berührt auch das Verhältnis von Notwendigkeit und Kontingenz und verknüpft dadurch in tieflegender Weise die leibnizsche Logik mit seiner Physik und Naturphilosophie. Die wirkliche Welt ist also in diesem Sinne nicht notwendig, sondern wird aus den möglichen Welten durch ein Optimalitätsprinzip ausgewählt, und zwar von Gott, womit wir dann bei der theologischen Komponente von Leibniz' Denken wären. Jedenfalls wird hierdurch auch das Verhältnis von Notwendigkeit und Determiniertheit des Naturgeschehens und menschlicher Freiheit subtil. Der ontologische Gottesbeweis schließt von der Gesamtheit aller Möglichkeiten auf die Individualität eines notwendigen Seins – so hat Kant es ausgedrückt. Der leibnizsche Gott braucht im Gegensatz zum newtonschen Gott nicht mehr auf die Welt einzuwirken, weil er sie von Anfang so klug eingerichtet hat, als beste aller möglichen Welten, dass in ihr nichts verloren gehen kann und sie von selbst weiterläuft. Dies bringt nun Leibniz in gefährliche Nähe zu Spinoza, der ihn auch heimlich fasziniert hat, von dem er sich aber aus theologischen und politischen Gründen distanzieren musste.³ Aber durch seine Ontologie einer Vielzahl selbständiger, nur durch ein ihnen äußerliches Prinzip ideal gekoppelter Monaden grenzt Leibniz sich sowohl vom cartesianischen Dualismus als auch vom spinozistischen Monismus ab.

Das Konzept der Monade soll aber wohl letztlich zu vieles gleichzeitig leisten und sowohl die hinter den physikalischen Erscheinungen liegenden, selbst nicht mehr räumlichen Entitäten identifizieren, als auch die Träger von Leben und Bewusstsein erfassen. Dadurch, dass in den Monaden auch die Einheit des Bewusstseins verortet wird, soll sowohl der cartesianische Dualismus zwischen der ausgedehnten und der denkenden Substanz als auch der Monismus Spinozas überwunden werden, welcher die gesamte Wirklichkeit als Emanation einer einzigen Substanz auffasste. Leibniz setzte diesen in seinem Monadenbegriff die

²Dieses Extremalprinzip wird von Leibniz in einem Brief formuliert, den Samuel König der Berliner Akademie vorlegte, allerdings nur in einer Abschrift, die dann auf Betreiben von Euler als Fälschung deklariert wurde (s. [98]) und deren Authentizität bis heute nicht einwandfrei geklärt werden konnte (s. [28, 99] zum aktuellen Stand der Debatte), auch wenn seinerzeit führende Leibnizexperten wie Cassirer von der Echtheit überzeugt waren. Insofern ist also die hier vorgenommene Zuschreibung historisch nicht völlig abgesichert, auch wenn sich für mich das Prinzip sehr natürlich aus dem leibnizschen System ergibt. S. auch Kap. 2. Auf die umfangreiche, bis heute anhaltende und teilweise sehr erbittert geführte Diskussion zu dieser Frage will ich hier aber nicht weiter eingehen. Ich werde hierauf aber in einer kommentierten Ausgabe von Eulers Variationsrechnung zurückkommen.

³Für das Verhältnis von Leibniz zu Spinoza s. z. B. die klassische Studie [90] von G.Friedmann. Für die Spinozarezeption im Allgemeinen vgl. [124].

Vorstellung entgegen, dass es eine Vielzahl von individuellen Monaden gebe, die letztendlich das einzig Reale ausmachen und deren Wechselwirkungen und Relationen daher nicht mehr selbst real, sondern ideal aufgefasst werden müssten. Diese Wechselwirkungen und Relationen konstituieren die Welt der Erscheinungen, welche also somit ideal wird. Die Monaden sind, wie Leibniz es ausdrückt, fensterlos, und die Abstimmung zwischen ihnen erfolgt nicht von innen heraus, sondern durch die prästabilierte Harmonie. Dies umgeht dann auch das Problem der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit physikalischer Wirkungen.

Jedenfalls erzwingt der leibnizsche Monadenbegriff, dass Raum und Zeit völlig andersartige Rollen haben, zumindest in der unten dargelegten und den weiteren Ausführungen zumeist zugrunde gelegten Interpretation 1. Wie wir noch genauer darlegen werden, bedingen Identität einer Monade in der Zeit und ihre zeitliche Entwicklung einander, weil die Monade ihr Entwicklungsgesetz in sich trägt und dies gerade ihre Identität ausmacht. Monaden sind dagegen nicht räumlich zu denken, sondern sind im Gegensatz zu räumlichen Objekten unteilbar. Erst in ihren Beziehungen zu anderen Monaden werden Monaden räumlich. In gewisser Weise hat jede Monade ihre eigene Zeit, während Raum erst bei den Relationen zwischen verschiedenen Monaden in Erscheinung tritt. Trotzdem gibt es wesentliche Analogien zwischen der Zeit als Ordnung der Sukzession und dem Raum als Ordnung der Koexistenz. In der unten dargestellten Interpretation 2 ist der Gegensatz zwischen Raum und Zeit ohnehin gemindert.

Wenn Leibniz sich der Biologie zuwendet, wird die Situation allerdings etwas komplexer. Hier gibt es für Leibniz Hierarchien von Monaden. Eine dominante Monade kontrolliert die ihr subordinierten. So kann ein Lebewesen als eine Einheit gefasst werden, die mehr ist als die ihr untergeordneten Bestandteile. Hierauf werden wir in Kap. 13 eingehen. Die dominante Monade muss dann in sich auch die Entwicklung der von ihr dominierten Monaden enthalten. Da diese aber wiederum auch ihr eigenes Entwicklungsgesetz in sich tragen, muss die Koordination wieder durch die prästabilierte Harmonie, also ideal, erfolgen. Insbesondere erschöpfen sich Relationen zwischen Monaden nicht in reinen Lagebeziehungen. Hieraus zeigt sich wieder, dass die leibnizschen Monaden keinesfalls als räumliche Objekte zu denken sind.

Mit der Determiniertheit des Naturgeschehens, wie Leibniz sie aus dem Satz vom zureichenden Grunde und der Autonomie der Monaden ableitet, ist für ihn menschliche Freiheit durchaus verträglich. Erstens beruht diese Determiniertheit auf für einen endlichen Geist kontingenten Tatsachen (hierin unterscheidet sich Leibniz von dem Anspruch Laplace'), die für ihn also nicht vollständig einsehbar sind. Dies ist nur der Intuition Gottes möglich. Zweitens besteht Freiheit für ihn darin, der Einsicht in das Richtige gemäß zu handeln. Freiheit ist also keine Willkür. Da nun Gott alles einsieht und dementsprechend handelt, ist er die völlig freie Monade. Dabei entsprechen die Naturgesetze (und damit für Leibniz letztendlich die Gesetze der Logik) nicht Gottes Willkür, wie Descartes postuliert hatte, sondern Gott erkennt sie und handelt daher ihnen entsprechend. Wir werden auf das Verhältnis von Determiniertheit und Freiheit noch einmal im Abschn. 12.2 zurückkommen.

Der Monadenbegriff ist oft kritisiert und lächerlich gemacht worden. Schon das von Leibniz aufgegriffene Wort „Monade“ klingt heutzutage etwas komisch.⁴ Leibniz' Epigone Christian Wolff, der den Monadenbegriff zum Zentrum eines rational durchkonstruierten Systems machte und durch dieses Systems seinerzeit einer der einflussreichsten und wirkungsmächtigsten Denker der Aufklärung wurde, ist letztendlich zum intellektuellen Prügelknaben der Philosophiegeschichte geworden. Leibniz- und Kantforscher sind sich bei allem Misstrauen, mit dem sie sich üblicherweise begegnen, zumindest darin einig, dass in einen längeren Text über ihren jeweiligen Helden zumindest einige abfällige Bemerkungen über Wolff gehören. Jedenfalls ist durch Wolff dann auch die leibnizsche Philosophie in Misskredit geraten.

Die Naturphänomene sind also für Leibniz kontinuierlich in Raum und Zeit, während die hinter der Erscheinungswelt liegenden Monaden, die die eigentliche Wirklichkeit darstellen, ihrer Natur nach diskret sind. Und da sie diskrete Einheiten sind, sind und bleiben sie mit sich selbst identisch. Es gibt keine Sprünge oder Übergänge zwischen ihnen, sondern sie tragen ihr eigenes Entwicklungsgesetz als Teil ihrer Identität in sich. Sie können allerdings nicht in endlich vielen Schritten erschlossen werden, sondern nur in unendlich vielen Schritten approximiert werden, so wie eine mathematische Reihe gegen ihren Grenzwert konvergiert, diesen aber nie erreicht. Da der menschliche Verstand aber im Unterschied zum Verstand Gottes nur mit endlich vielen Schritten operieren kann, erschließen sich jenem die Monaden nicht vollständig.

Leibniz versucht dann, mathematische Konzepte und Methoden für alle drei Aspekte zu entwickeln, die Infinitesimalrechnung für die kontinuierliche Welt der Erscheinungen in Raum und Zeit, die Analysis situs für das System der Relationen zwischen den dahinterliegenden diskreten Monaden, und die Logik für das Verständnis dieser Monaden selbst. Auf diese Weise verbindet er sonst als gegensätzlich empfundene Zugänge, geht aber gleichzeitig entscheidend über diese hinaus. Die mathematisch-geometrische Erfassung der physikalischen Wirklichkeit war ein Leitmotiv von Descartes, Grundlage seiner mechanischen Naturphilosophie. Leibniz dringt hier mit seiner dynamischen Konzeption des Naturgeschehens und seiner hierauf zugeschnittenen Analysis wesentlich tiefer als die eher statische, allenfalls kinetische, geometrisch gedachte, aber jedenfalls quantitativ konzipierte Theorie des Descartes. Die logische Erfassung der Wirklichkeit war dagegen die aristotelisch-scholastische, rein qualitativ argumentierende Zugangsweise, welche Descartes hatte überwinden wollen. Auch hier macht Leibniz außerordentliche Fortschritte, die ihn letztendlich weit über die aristotelische Syllogistik hinausführen. Und in die Geometrie führt Leibniz dann ganz neuartige strukturelle Gesichtspunkte ein, die vielleicht im Rückblick schon einen Keim für die Entwicklung der nichteuklidischen Geometrie und der modernen Topologie tragen, obwohl Leibniz selbst noch nicht so weit vorgedrungen ist (vgl. die detaillierten Analysen in [60, 62]).

In seinen logischen Untersuchungen entwickelt er nicht nur eine Quantorenlogik und arbeitet systematisch die Modalitäten der Notwendigkeit und der Möglichkeit heraus,

⁴Die korrekte Betonung liegt übrigens auf der ersten Silbe, *Mónade*.

sondern er entdeckt auch grundlegende Prinzipien der Strukturgleichheit bei materialer Verschiedenheit, also das mathematische Konzept der Isomorphie in heutiger Terminologie. Er will auf dieser Grundlage eine universelle Charakteristik (*characteristica universalis*), eine Universalsprache, entwickeln, die alle formalen Argumente in einen einheitlichen Kalkül überführen und damit entscheidbar machen kann. Diese Universalsprache ist ein System von Zeichen, mit dessen Hilfe die Beziehungen zwischen Objekten strukturerhaltend abgebildet werden sollen. Den Dingen werden also Zeichen zugeordnet, derart, dass den Beziehungen zwischen den Dingen Beziehungen zwischen diesen Zeichen entsprechen sollen. Die Beziehungen zwischen diesen Zeichen führen zu Rechenregeln, mit denen wissenschaftliche Fragen, in diesen formalen Kalkül übersetzt, dann durch Rechnungen automatisch entschieden werden konnten. Leibniz konnte allerdings keine vollständige Durchführung dieses grandiosen Programms gelingen, obwohl er schon zu wesentlichen Prinzipien der modernen Logik vorgedrungen ist.

Es hatte viele Versuche gegeben, den Geheimnissen der Wirklichkeit durch eine universelle Sprache, konzipiert als ein formales Schema der Kombinatorik von Begriffen, auf die Spur zu kommen. Besonders bekannt und einflussreich war das System des katalanischen Spätscholastikers Ramond Lull. Zur Zeit von Leibniz entwickelten beispielsweise George Dalgarno und John Wilkins derartige Systeme, und auch das System von Athanasius Kircher war wesentlich durch solche Überlegungen geleitet.⁵ Man vgl. z.B. die Darstellung der Geschichte solcher Systeme in [73]. Dies war natürlich alles sehr spekulativ. Leibniz sah tiefer. Ihm war klar, dass die formalen Kombinationsregeln den inhaltlichen Beziehungen zwischen den Begriffen entsprechen mussten. Daher war, so stellte Leibniz es sich vor, als Grundlage eine systematische Enzyklopädie, ein Katalog mit den Eigenschaften sämtlicher Begriffe, zu entwickeln, und dies konnte nur als ein wissenschaftliches Großprojekt mit vielen Mitarbeitern durchgeführt werden. Die Verwirklichung eines solchen Projektes gelang Leibniz allerdings nicht, auch wenn er sich intensiv um die finanziellen und organisatorischen Strukturen bemühte. Die Kombinatorik musste dann den so dargestellten Beziehungen zwischen den Eigenschaften isomorph sein. Dazu entwickelte Leibniz eine Begriffslogik, die die Kombination von Eigenschaften in Formeln der Art $A = BC$

⁵Als junger Mann hatte Leibniz noch mit Kircher (1602–1680) über eine universelle Charakteristik korrespondiert, aber im Laufe der Jahre wurde er immer skeptischer gegenüber Kirchers Spekulationen, die das gesamte Wissen als miteinander geheimnisvoll verschlungenes Ganzes zu erfassen suchten. Als wohl größter Meister der medialen Repräsentation seiner Zeit hatte der Jesuitenpater Kircher sein universelles Motto „omnia in omnibus“ (oder auch „unum ex omnibus & omnia ex uno“) in opulent ausgestatteten Büchern und einer groß angelegten und systematisch durchkonzipierten Sammlung im Collegium Romanum in Rom illustriert [150]. Der Besuch dieser Sammlung galt seinerzeit als ein Höhepunkt jeder Romreise. Aber als Leibniz 1689 in Rom weilte, interessierte er sich anscheinend weniger für diese große, nach dem Tode Kirchers allerdings verfallende Sammlung als für die Briefe von Descartes, die sich im Nachlass der zum Katholizismus konvertierten und kürzlich in Rom verstorbenen schwedischen Königin Christina befanden, oder für die Informationen über China, die er von den jesuitischen Missionaren erhalten konnte. Leibniz war da wohl schon intellektuell weit über Kircher hinaus.

übersetzte, die sich strukturell wie die Multiplikation natürlicher Zahlen verhielten. Eine solche Formel entsprach also der Zerlegung einer Zahl in Faktoren, und die grundlegenden Einheiten waren dann die Primzahlen, also diejenigen Zahlen, die nicht weiter in Faktoren zerlegt werden können. Diese entsprachen dann den grundlegenden Eigenschaften. Da Begriffe allerdings nicht nur positiv, also durch das Vorhandensein bestimmter Eigenschaften, sondern auch negativ, durch die Abwesenheit anderer Eigenschaften, charakterisiert sein können, musste Leibniz dann zwei Systeme von zueinander teilerfremden Faktorisierungen verwenden, eines für die positiven, und eines für die negativen Eigenschaften. Dies wird im Abschn. 8.1 noch genauer dargestellt. Der wesentliche Punkt an dieser Stelle ist, dass Leibniz im Gegensatz zu seinen Vorläufern, wenn man ihn denn in die Traditionslinie von Lull stellen will, den Unterschied zwischen inhaltlicher Bestimmtheit und struktureller Gleichheit (Isomorphie) klar gesehen hat. Dies stellt eine in ihrer Bedeutung vielleicht noch nicht hinreichend gewürdigte Erkenntnis dar. Überhaupt wird die angesprochene Traditionslinie in der neueren Leibnizforschung wohl eher vernachlässigt. Beispielsweise findet sich in dem von führenden Leibnizexperten verfassten, umfassenden Handbuch [6] kein einziger Verweis auf Lull, Kircher und derengleichen. Dadurch kann aus dem Blick geraten, dass die Originalität von Leibniz nicht etwa darin besteht, dass er ein System universeller Harmonie oder eine universelle Charakteristik konzipiert hat, denn dass haben andere schon vor ihm getan, sondern dass er anscheinend als Erster klar gesehen hat, dass ein solches System, um aus ihm Aussagen über die wirkliche Welt ableiten zu können, auf präzisen strukturellen Entsprechungen zwischen dem jeweiligen Gegenstandsbereich und dem formalen System beruhen muss. Diese können nicht einfach postuliert werden, sondern müssen durch sorgfältige Untersuchungen aufgewiesen werden. Die Bedeutung von Leibniz liegt also nicht sowohl darin, dass er ein heutzutage vielleicht eher fremdartig anmutendes System einer universellen Harmonie aufgestellt hat, denn das war, wie dargelegt, zu seiner Zeit ein vielfältig ausgestalteter Ansatz, sondern vielmehr darin, dass er die Notwendigkeit einer tieferen und grundsätzlicheren Begründung (in seiner Konzeption als einer prästabilierten statt nur universellen Harmonie) erkannt hat und dadurch zu seinerzeit neuartigen Konzeptionen struktureller Art gelangt ist, die grundlegend für die moderne Wissenschaft sind. – Auch die Überlegungen von Kepler waren wesentlich durch Vorstellungen einer allgemeinen Weltharmonie geleitet worden. Insbesondere hatte er, von einem solchen Denken geleitet, zunächst spekuliert, dass sich das Planetensystem durch die Geometrie der platonischen Körper erklären ließe (s. [149]). Als großer und für Spätere vorbildlicher Naturwissenschaftler hatte er dieses System dann aber wieder verworfen, als es sich mit den astronomischen Beobachtungsdaten nicht in Einklang bringen ließ. Stattdessen erkannte er durch jahrelange Berechnungen auf der Basis der astronomischen Daten von Brahe, dass die Planetenbahnen (genauer diejenige des Mars) nicht kreisförmig, sondern elliptisch waren [148] (s. auch die maßgebliche Keplerbiographie [43]). Kepler drang also von einem ursprünglich eher statisch-geometrisch konzipierten Modell zu einem dynamischen, auf Kraftwirkung beruhenden Ansatz vor, indem er die Sonne als Kraftzentrum in einen der beiden Brennpunkte

der Ellipsenbahn stellte. Dies war entscheidend für Newtons Gravitationstheorie. Leibniz äußerte sich über Kepler stets mit großem Respekt [1, 36].

Jedenfalls hat Leibniz auch seine Infinitesimalrechnung als eine Anwendung dieses Prinzips oder Verwirklichung seines Programms einer universellen Charakteristik gesehen.

Durch solche Überlegungen wird er auch auf das Binärsystem geführt, also die Arithmetik, mit der heutzutage Computer rechnen [binär]. Das Binärsystem operiert mit nur zwei Symbolen, 0 und 1, und hat die Rechenregel $1 + 1 = 10$. Hierbei bedeutet 10 nicht etwa „Zehn“, sondern „Zwei“. Mit anderen Worten erfährt hier ein gängiges Symbol, 10, eine neue Interpretation, und ein solcher Umgang mit den formalen Aspekten von Symbolen ist charakteristisch für das logische Denken von Leibniz.⁶

Wie erwähnt, ist das Binärsystem der Code, mit dem die heutigen datenverarbeitenden Computer operieren. In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, dass Leibniz auch eine, seinerzeit natürlich noch mechanische, Rechenmaschine konstruiert hat, die nicht nur addieren und subtrahieren, sondern auch multiplizieren und dividieren konnte [242]. Dies setzt in gewisser Weise Leibniz' Programm fort, geistige Operationen durch einen formalen Kalkül zu automatisieren, denn automatisierte Operationen können dann auch mechanisiert werden. So hat Leibniz den logischen Kalkül der Begriffe im Sinne eines strukturellen Isomorphismus in die Multiplikation ganzer Zahlen übersetzt und damit letztendlich mechanisierbar gemacht.

Seine erste Rechenmaschine, die er im Jahre 1673 in London vorstellte, arbeitet noch mit dem Dezimalsystem, und zur maschinellen Umsetzung der Rechenoperationen hatte Leibniz das Prinzip der Staffelwalze ersonnen.⁷ Später skizzierte er auch eine binäre

⁶Als Leibniz durch seine Korrespondenz mit dem jesuitischen Chinamissionar Bouvet die alte chinesische Weissagungslehre des I Ging [79, 251] (s. z. B. [101] oder [215] für die sinologische Darstellung) (Yi Jing in der heute gebräuchlichen Pinyin-Umschrift) kennen lernte (s. [Sinica,China]), welche ebenfalls mit der Kombinatorik von nur zwei Symbolen, kurzen und langen Strichen, arbeitet, ergab sich eine überraschende Parallele zu seinem Binärsystem. Übrigens sah Leibniz den wesentlichen Aspekt der westlichen Überlegenheit über die chinesische Kultur und Philosophie, für die er einen großen Respekt bezugte (s. auch [Chinois]), in der Entwicklung der abstrakten Mathematik [Sinica,China].

⁷Allerdings hatte schon vorher Wilhelm Schickard (1592–1635) 1624 eine Rechenmaschine konstruiert, die alle vier Grundrechenarten beherrschte, um die astronomischen Berechnungen von Johannes Kepler zu unterstützen. Diese Maschine ging allerdings im Dreißigjährigen Krieg verloren und war Leibniz wohl nicht bekannt. Sie funktionierte auch ganz anders als die leibnizschen Rechenmaschine, mit Neperstäbchen für die Multiplikation (nach dem schottischen Mathematiker John Napier (oder Neper, 1550–1617), und die Zwischenergebnisse der Multiplikation mussten per Hand in das Additionswerk übertragen werden, s. [87]). Auch Blaise Pascal (1623–1662) hatte im Jahr 1642 eine Rechenmaschine konstruiert, die allerdings nur addieren und subtrahieren konnte. Nachdem Leibniz nach seiner eigenen späteren Aussage zuerst unabhängig Ideen zur Konstruktion einer Rechenmaschine entwickelt hatte, stieß er auf die Pascaline, aber die leibnizsche Maschine funktionierte völlig anders als diejenigen von Schickard und Pascal, und die leibnizsche Konstruktion greift wesentlich weiter als diejenigen seiner Vorgänger, zu denen auch noch der Engländer Samuel Morland (1625–1695) gerechnet werden muss. Der ökonomische, technische und soziale Kontext der Konstruktion solcher Maschinen, wie auch derjenigen von Charles Babbage (1791–1871) im