

VISION ALS AUFGABE

Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert

Herausgegeben von
Martin Grötschel Eberhard Knobloch Juliane Schiffers
Mimmi Woisnitza Günter M. Ziegler

berlin-brandenburgische
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

VISION ALS AUFGABE

Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert

Herausgegeben von
Martin Grötschel Eberhard Knobloch Juliane Schiffers
Mimmi Woisnitza Günter M. Ziegler

berlin-brandenburgische
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

VISION ALS AUFGABE

Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert

Herausgegeben von
Martin Grötschel Eberhard Knobloch Juliane Schiffers
Mimmi Woisnitza Günter M. Ziegler

berlin-brandenburgische
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

VISION ALS AUFGABE

Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert

Herausgegeben von
Martin Grötschel Eberhard Knobloch Juliane Schiffers
Mimmi Woisnitza Günter M. Ziegler

berlin-brandenburgische
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN



VISION ALS AUFGABE

Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert

Herausgegeben von
Martin Grötschel Eberhard Knobloch Juliane Schiffers
Mimmi Woisnitza Günter M. Ziegler

berlin-brandenburgische
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

Wie steht es um die Verantwortung der Wissenschaften für die Gesellschaft? Welche Erkenntnisse können aus dem historischen Erbe eigener und fremder Kulturen gewonnen werden? Wie können theoretische Überlegungen zu konkretem Anwendungsnutzen führen? Wie kann Wissenschaft helfen, die Lebensqualität der Menschen zu verbessern?

Dies sind große Fragen, die schon Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716), den Vordenker eines aufgeklärten Menschenbildes und eines modernen Wissensdiskurses, beschäftigten und die sein Werk über die Jahrzehnte hinweg prägten. Drei Jahrhunderte später ist es angesichts der rasanten Globalisierung und des enormen technologischen Fortschritts, der wachsenden wirtschaftlichen, medialen sowie kulturellen Vernetzung unserer Welt und der zunehmenden politischen und sozialen Unsicherheiten an der Zeit, sich diese Fragen mit Leibniz neu zu stellen und sie auf ihre Aktualität hin zu überprüfen.

Der vorliegende Band enthält eine Auswahl der Beiträge zum Jahresthema 2015/16 *Leibniz: Vision als Aufgabe*, mit dem die Akademie anlässlich des doppelten Leibniz-Jubiläums im Jahre 2016 (370. Geburtstag am 1. Juli und 300. Todestag am 14. November) ihren Gründer und ersten Präsidenten ehrt. Die Aufsätze gehen den Spuren des Leibniz'schen Denkens in Philosophie, Mathematik, Astronomie und Sprachwissenschaft bis in die Gegenwart nach und suchen zugleich nach zukunftsweisenden Impulsen.



LEIBNIZ: VISION ALS AUFGABE

Herausgegeben von
Martin Grötschel, Eberhard Knobloch, Juliane Schiffrers,
Mimmi Woisnitza und Günter M. Ziegler

Martin Grötschel, Eberhard Knobloch, Juliane Schiffrers,
Mimmi Woisnitza und Günter M. Ziegler (Hg.)

Vision als Aufgabe

Das Leibniz-Universum
im 21. Jahrhundert



Der Band dokumentiert ausgewählte Vorträge im Rahmen des Jahresthemas 2015/16 *Leibniz: Vision als Aufgabe* der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Mit Nennung der männlichen Funktionsbezeichnung ist in diesem Buch, sofern nicht anders gekennzeichnet, immer auch die weibliche Form mitgemeint.

Redaktion: Mimmi Woisnitza, Christoph Eyrych, Simone Pfeil, Can Tunc

Diese Publikation erscheint mit Unterstützung der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung des Landes Berlin und des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg sowie der Robert Bosch Stiftung.

Robert Bosch Stiftung

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

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

ISBN 978-3-939818-67-0

© Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, 2016
Jägerstraße 22/23, 10117 Berlin, www.bbaw.de

Die Publikation steht auf dem edoc-Server der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften zur Verfügung. Die Texte stehen unter der Lizenz CC-BY-SA 3.0 de. Die Rechte an den Abbildungen liegen beim jeweiligen Urheber.

Für die Einbandgestaltung wurden die folgenden Handschriften verwendet:

Oben: GWLB Hannover, LH xxxv 3B Bl 1r

Mitte links: Archiv der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, I-I-2, Bl. 19

Mitte rechts: GWLB Hannover, LH xL Bl 140r

Unten: GWLB Hannover, LH xxxvii IV Bl 3v

Gestaltung, Satz, Einband: Christoph Eyrych, Berlin

Druck und Bindung: DBM Druckhaus Berlin-Mitte GmbH

Das eingesetzte Papier ist alterungsbeständig.

Printed in Germany

Inhalt

Vorwort der Herausgeber	ix
-------------------------	----

I Theorie mit Praxis

Eberhard Knobloch	
Einleitung	3

Jürgen Mittelstraß	
Enzyklopädische Wissensordnungen	5

Hans Poser	
Leibniz und die theoretische, methodische und sprachliche Einheit der Wissenschaften	17

Carl Friedrich Gethmann	
<i>Theoria cum praxi</i> – die exoterischen Aufgaben der wissenschaftlichen Akademien	33

Sybille Krämer	
Leibniz ein Vordenker der Idee des Netzes und des Netzwerkes?	47

Horst Bredekamp	
Kein Geist ohne Körper, kein Körper ohne Geist: Leibniz' begreifendes Sehen und die Sinnlichkeit der <i>Appetition</i>	61

II Mathematik

Günter M. Ziegler	
Einleitung	83

Eberhard Knobloch	
Originalität, Priorität und Reputation: Leibniz und Newton	85

Eberhard Knobloch	
Finanz- und Versicherungswesen im Zeichen Leibniz'scher Auffassung von Gerechtigkeit	97
Günter Schmidt	
Versicherungstechnik, Solidarität und Gerechtigkeit	107
Horst Zuse	
Der lange Weg zum Computer: Von Leibniz' Dyadik zu Zuses Z3	III
Thomas Lengauer	
Macht, Suggestivität, Grenzen und Risiken der Datenanalyse in den Zeiten von Big Data	125
Johannes Buchmann und Nina Bindel	
Verschlüsselung und die Grenzen der Geheimhaltung	147
 III Der Blick in die Sterne	
Martin Grötschel	
Einleitung	163
Klaus-Dieter Herbst	
Astronomische Forschung im 17. und beginnenden 18. Jahrhundert: Johannes Hevelius und Gottfried Kirch	165
Roland Wielen	
Das Kalender-Edikt des Brandenburgischen Kurfürsten Friedrich III. vom 10. Mai 1700	185
Matthias Steinmetz	
Die Vermessung des Universums	197
Günther Hasinger	
Leibniz und die Planetenforschung	211

IV Sprache: Einheit und Vielfalt der Vernunft

Jürgen Trabant Einleitung	229
Jürgen Trabant In die Rappuse gegangen: Leibniz und das Deutsche	231
Wenchao Li Universalschrift und natürliche Sprachen	243
Toon van Hal Leibniz, das Vaterunser und die Sprachvielfalt	255
Paul Feigelfeld Chinese Whispers – die epistolarische Epistemologie des Gottfried Wilhelm Leibniz	265
Andrea Bréard Logik und Universalsprache – Leibniz’ Ideen 200 Jahre später	277
Autorinnen und Autoren	299
Das „Jahresthema“ der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften	303

Vorwort der Herausgeber

Im Jahre 1695 schreibt Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) auf Lateinisch an den Philosophen und Juristen Vincent Placcius:

Ich habe [...] soviel Neues in der Mathematik, so viele Gedanken in der Philosophie und so viele andere literarische Beobachtungen [...] dass ich oft nicht weiß, was ich zuerst tun soll.
(Leibniz 1768, VI, 59, deutsch von Eberhard Knobloch)

Diese Selbstdiagnose steht sinnbildlich für den Ideenreichtum des großen Universalgelehrten der Frühaufklärung, der wie kaum ein anderer die Entfaltung der modernen Wissenschaften vorangetrieben hat. Tatsächlich ist die Vielfalt von Leibniz' Beschäftigungsfeldern nach heutigen Maßstäben kaum mehr nachzuvollziehen: Er war Philosoph, Historiker, Mathematiker, Physiker, Ingenieur, Diplomat, Archivar und Bibliothekar, und als Gründer der damals noch *Kurfürstlich-Brandenburgischen Sozietät der Wissenschaften* auch einer der ersten Wissenschaftsmanager. So verwundert es wenig, dass sich die Spuren seines Wirkens in einer Vielzahl von Disziplinen und Wissensfeldern der Gegenwart finden lassen. Wer sich mit der Geschichte der Astronomie, der modernen Mathematik und des Versicherungswesens, der Sprachwissenschaften, der Moralphilosophie, der modernen Ästhetik oder, heute vielleicht an vorderster Front, der Digitalität befasst, kommt an Leibniz nicht vorbei.

Leibniz' Monadenlehre und die damit verbundene Vorstellung einer zwar von Gott geschaffenen, sich aber selbst regulierenden Welt bereiteten den Weg für die Philosophie der Aufklärung; seine Konzeption der kleinen Perzeptionen legte den Grundstein für die moderne Ästhetik. Seine Entwicklung der Infinitesimalrechnung hat die Mathematik revolutioniert und ein tieferes Verständnis der Natur- und Ingenieurwissenschaften ermöglicht, seine Überlegungen zum Binärcode und sein Bau einer mechanischen Vier-Spezies-Rechenmaschine sind bedeutende Bausteine der heutigen Computertechnik. Leibniz unterstützte zudem die Umsetzung der Kalenderreform und trieb damit die Etablierung der Astronomie als wissenschaftliche Disziplin entscheidend voran. Seine Idee einer die Kommunikation aller Menschen erleichternden Universalsprache wurde über die Jahrhunderte hinweg immer wieder aufgegriffen und ist mit Blick auf die derzeitige *lingua franca* „Englisch“ heute aktueller denn je.

Dieser staunenswerten Vielfalt und weiterhin hohen Aktualität des Leibniz'schen Denkens nachzuspüren, hat sich die *Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften* mit ihrem Jahresthema 2015/16 „Leibniz: Vision als Aufgabe“ zum Thema gemacht. Anlässlich des doppelten Leibniz-Jubiläums 2016 (370. Geburtstag am 1. Juli und 300. Todestag am 14. November) setzten sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Künstlerinnen und Künstler sowie Schülerinnen und Schüler mit Leibniz auseinander. In Vorträgen, auf Symposien und Workshops, in einer Kunstaussstellung, in einem Online-Projekt zu Leibniz-Handschriften und einer Film-Dokumentation über die Arbeit am Leibniz-Nachlass wurde ein Kaleidoskop von Fragen aufgeworfen. Dabei wurden ungeahnte und überraschende Wechselwirkungen zwischen Geschichte und Gegenwart aufgedeckt.

Wie seit 2007 mit anderen Schwerpunkten – etwa „Zukunftsort: Europa“ oder „Artefakte: Wissen ist Kunst“ – hat sich auch dieses Jahresthema zum Ziel gesetzt, den Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft voranzutreiben. Jeweils auf zwei Jahre angelegte Themenschwerpunkte informieren die Öffentlichkeit über die Forschungsprojekte der Akademie. Darüber hinaus wird durch Kooperationen mit wissenschaftlichen und kulturellen Institutionen in Berlin und Brandenburg die interinstitutionelle Vernetzung in der Region gefördert. Begleitet werden die jeweiligen Jahresthemenaktivitäten von einem wissenschaftlichen Beirat, der sich aus Akademiemitgliedern sowie externen interdisziplinären Experten zusammensetzt. Leibniz' visionärer Geist bietet nicht nur reichlich Stoff für historische Forschungen, sondern ist vor allem vielfältiger Anknüpfungspunkt für die Frage nach der Zukunft unseres Wissens, unserer Gesellschaft und unseres Zusammenlebens.

Vision als Aufgabe: Leibniz heute

Die historische Konstellation, in die Leibniz 1646 hineingeboren wurde, bot auf vielfache Weise Anlass für einen regen Geist wie den seinen, den gewohnten Blick auf die Welt zu hinterfragen und neu auszurichten. 1648 hatte der dreißigjährige Krieg ein Ende genommen. Im Nachgang der Westfälischen Friedensverträge hatte sich zwar die politische Gesamtlage in Europa beruhigt, die Erschütterungen der Kriegsjahre hatten aber tiefe Spuren hinterlassen. Was blieb, war die Verwüstung ganzer Landstriche und die kollektive Erinnerung an bis dahin beispiellose Schrecken, die Millionen von Menschen im Namen von Religion und Territorialinteressen das Leben gekostet hatten. Leibniz' Jugend- und Studienzeit kann also durchaus als Zeit des Aufbruchs in eine bessere, wenn auch ungewisse Zukunft bezeichnet werden, und es erstaunt nicht, dass sich Leibniz die großen Fragen mit Emphase neu stellte: Wie wollen wir leben? Was können wir über die Welt wissen, und wie können wir dieses Wissen einsetzen, um unser Leben in der Welt zu verbessern?

Bekanntlich verstand Leibniz die Welt als „die beste aller möglichen Welten“ – ein optimistisches Konstrukt, das negative Aspekte wie z. B. den wenige Jahrzehnte zurückliegenden Krieg als notwendige Übel vor dem Hintergrund anderer, schlechterer Welten mit einbezog. Zugleich und vor allem ist diese Idee aber ein Aufruf, die noch nicht verwirklichten Möglichkeiten zur Verbesserung zu entfalten, zu erforschen und zu realisieren. Dafür braucht es, das war Leibniz' Überzeugung, starke Individuen, die miteinander in produktive Gespräche treten. Die beste aller möglichen Welten ist für ihn eine Welt, in der die größtmögliche Vielfalt individueller Äußerungen am besten miteinander zusammenstimmt, eine harmonische Symphonie bildet und die sich im Kleinen wie im Großen weiterentwickelt. Individuelles Glück ist für Leibniz nur in Gemeinschaft zu erreichen. Forschung ist kein Selbstzweck, sondern zum Wohle aller da.

Angesichts der gegenwärtigen Weltlage, die uns Bewohner der westlichen Hemisphäre in relativer Sicherheit leben lässt, während Menschen anderswo schutzlos der Willkür von Gewalt-herrschaft ausgeliefert sind und unvorstellbare Strapazen in Kauf nehmen, um ihre Familien vor Hunger, Krieg und Terror zu schützen, stellt sich die Frage nach dem Verhältnis von Wissenschaft und gesellschaftlicher Verantwortung mit neuer Dringlichkeit. Das beständige Gefühl einer latenten Krise, die immer und überall auszubrechen droht, das zugleich regional wie global zunehmende Wohlstandsgefälle, der rasante technische Fortschritt: dies alles zwingt zum

Nachdenken darüber, in welche Zukunft uns die technologischen Innovationen der Gegenwart führen und welche politischen und sozialen Korrektive wir brauchen, um diese Entwicklungen als mündige Bürger mitgestalten zu können.

In diesem Sinne hat die Akademie über die Jahre 2015 und 2016 hinweg einige der zahlreichen Leibniz'schen Ideen aufgegriffen und versucht, sie für unsere heutige Zeit fruchtbar zu machen. Dabei ging es auch, aber nicht nur, um eine Analyse von Geschichte und Gegenwart. Immer wieder wurde versucht, Visionen für die Wissenschaft und unser zukünftiges Zusammenleben zu entwickeln.

Die Verantwortung der Wissenschaften

Mit dem Jahresthema 2015/16 „Leibniz: Vision als Aufgabe“ ehrt die Akademie neben dem Universalgelehrten und Vordenker der Moderne auch ihren ersten Präsidenten, der ihre Gründung inspiriert und erfolgreich betrieben hat. Im Jahr 1700 überzeugte Leibniz mit Unterstützung seiner engen Vertrauten Sophie Charlotte deren Gemahl Kurfürst Friedrich III., den Bau der Sternwarte in der Dorotheenstraße mit der Gründung einer Sozietät der Wissenschaften zu verbinden, die – anders als die *Académie des Sciences* in Paris oder die *Royal Society* in London – Geistes- und Naturwissenschaften unter einem Dach vereinen sollte. Damit schuf Leibniz den institutionellen Rahmen für das, was ihn auch theoretisch Zeit seines Lebens umgetrieben hat: die Systematisierung des Wissens und der Wissenschaften.

Schon die Verknüpfung zwischen Wissenschaftsakademie und Observatorium zeigt an, dass Leibniz Wissenschaft nie als Selbstzweck verstand. Alle Wissenschaft, so macht er in seinen *Gedanken von Aufrichtung einer Societatis Scientiarum et Artium* vom Juni 1700 deutlich, solle an ihrer Anwendbarkeit orientiert und die Arbeit der Akademie dem Ziel der Verbesserung des menschlichen Daseins verpflichtet sein:

Solche Churfürstl. Societät müste nicht auf blossе Curiosität oder Wissens-Begierde und unfruchtbare Experimenta gerichtet seyn, oder bey der blossen Erfindung nützlicher Dinge, ohne Application und Anbringung beruhen, wie etwa zu Paris, London und Florentz geschehen, [...] sondern man müste gleich anfangs das Werck samt der Wissenschaft auf den Nutzen richten, und auf solche specimina denken, davon der hohe Urheber Ehre, und das gemeine Wesen ein mehrers zu erwarten Ursach habe. (Leibniz seit 1923, IV, 8, Nr. 78, 426)

Nicht allein auf Kontemplation und bloßer theoretischer Neugierde solle Wissenschaft beruhen. Vielmehr sei es der Gedanke der Umsetzung und Implementierung, der Erkenntnisprozesse zu leiten habe. An dieser Stelle führt Leibniz die berühmte Losung ein, dass die Akademie dem „Zweck Theoriam cum Praxi“ zu folgen habe, wobei „nicht allein die Künste und die Wissenschaften, sondern auch Land und Leute, Feld-Bau, Manufacturen und Commercen [...] zu verbessern“ seien. Der Anspruch, eine wissenschaftliche Institution zu schaffen, die auf ganz konkrete, gesamt-gesellschaftlich relevante Problemfelder ausgerichtet ist, zieht sich durch alle mit der Akademiegründung verbundenen Schriften und prägt bis heute das Selbstverständnis unserer Wissenschaftsakademie.

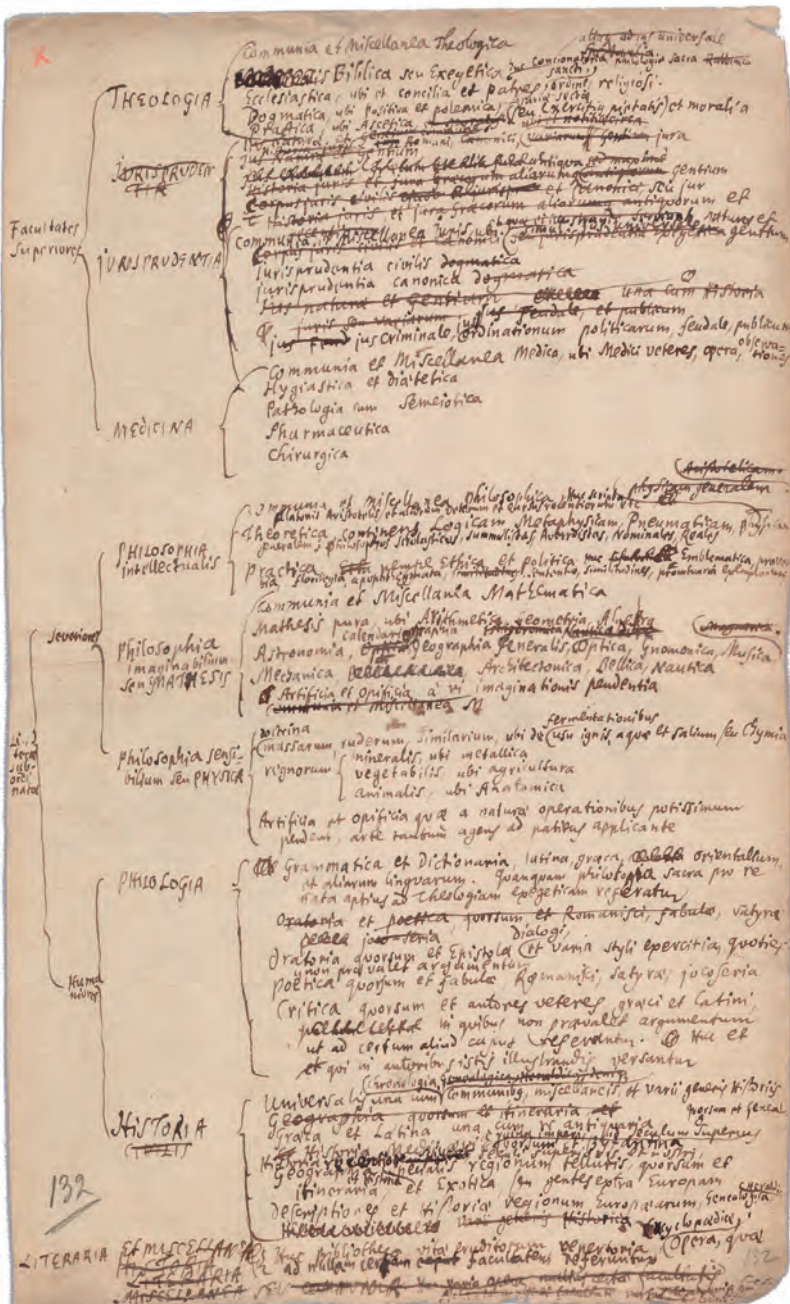
Das Prinzip, wonach Wissenschaft durch ihre Anwendung geleitet sein solle, war auch Leitmotiv der Veranstaltungen und Projekte, mit denen sich das Leibniz-Jahresthema einer breiten

Öffentlichkeit präsentierte. So wurden u. a. der Prioritätsstreit zwischen Leibniz und Newton mit Hinblick auf den Originalitätsanspruch wissenschaftlicher und technischer Innovationen in der Gegenwart diskutiert und Leibniz' Vorreiterrolle bei der Begründung des modernen Versicherungssystems hervorgehoben. Die Tagung „Leibniz – Netzwerk – Digitalisierung“ fragte nach dem Prinzip der Vernetzung bei Leibniz – und dies sowohl im Hinblick auf sein philosophisches System als auch im Hinblick auf seine praktischen und naturwissenschaftlich-technischen Innovationen. Auf der Ausstellung „Leibniz-Reflexe“ präsentierten Studierende der Hochschule für Bildende Künste Dresden ihre Arbeiten, mit denen sie insbesondere auf Leibniz' Metaphysik reagierten. Die Veranstaltungsreihe „Leibniz und die Sterne“ ging der Bedeutung von Leibniz für die mittlerweile hochtechnologisierte Astronomie und Planetenforschung nach. Die Akademievorlesung „Daten – Chiffren – Quanten“ im Wintersemester 2015/2016 widmete sich ausgehend von Leibniz' Überlegung zur Chiffriertechnik dem Problem der Sicherheit im „Big-Data-Zeitalter“. Auf einer Tagung zu Leibniz' Idee einer Universalsprache diskutierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Schülerinnen und Schülern über Chancen und Risiken einer globalen Lingua Franca und von Mai bis Juli konfrontierte das Schülerlabor Geisteswissenschaften Berliner Gymnasiasten mit der Geschichte des Binärcodes. Weiterhin wurde nach dem Einfluss von Leibniz' Denken auf die Gentechnologie und die Lebenswissenschaften gefragt. Die Abschlusstagung Ende Oktober thematisierte das Prinzip von Analogiebildungen bei Leibniz mit Blick auf die Entstehung und Erfindung von „Neuem“ in Philosophie, Kunst und Kognitionswissenschaften. Das Abendprogramm wurde in Kooperation mit dem STATE Festival 2016 ausgerichtet und bot Installationen und Performances zum Thema von jungen Berliner Künstlerinnen und Künstlern.¹

Begleitend zu den Veranstaltungen präsentierte das Online-Projekt „Leibniz-Objekt des Monats“ über das Leibniz-Jahr 2016 hinweg Handschriften und historische Dokumente, die ein ganz eigenes Bild vom Leben und Wirken des großen Visionärs zeichnen. Experten erläuterten die Gründungsdokumente der Sozietät, das Kalender-Edikt, Leibniz' berühmte Rechenmaschine sowie komplizierte, kaum mehr nachvollziehbare Rechnungen und scheinbar unlesbare Marginalien.² Ebenfalls zum Thema bietet der Dokumentarfilm „Das Jahrhundertprojekt – Die Leibniz-Editionsstellen der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften“ (2016, 27 min.) einen vertiefenden Einblick in die faszinierende Arbeit an dem mehr als 200 000 Manuskriptseiten umfassenden Leibniz-Nachlass.³ Der Film zeigt, dass alle theoretische Auseinandersetzung mit Leibniz auf dieser ganz praktischen Voraussetzung beruht: dass nämlich die Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz überhaupt erst zugänglich gemacht und das heißt digitalisiert, transkribiert und philologisch-kritisch erschlossen und kommentiert werden müssen – ein Vorhaben, das voraussichtlich erst 2055 abgeschlossen sein wird.

Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert

Der vorliegende Band ist in die vier Sektionen Philosophie, Mathematik, Astronomie und Sprache unterteilt. Diese Einteilung ist dabei nicht allein dem Versuch geschuldet, die Vielfalt der Themen zu strukturieren. Vielmehr folgt die Kapitelstruktur zumindest in Ansätzen der Wissensordnung, die Leibniz wenige Jahre vor der Akademiegründung selbst mit Blick auf eine neue Systematik von Bibliotheken nach Wissensgebieten entworfen hat. In der Handschrift



Darstellung einer Wissensordnung, die einer neuen Bibliothekssystematik zu Grunde liegen sollte
(©GWLH Hannover, LH XL Bl. 132r)

De Dispositione Bibliothecae per Ordinem Facultatum (1696 oder 97) stellt Leibniz den drei Hauptfakultäten Theologie, Jurisprudenz und Medizin die Fakultät der Philosophie und Geisteswissenschaften zur Seite (Leibniz seit 1923, IV.6, Nr. 77: 517; vgl. Waldhoff 2008; Waldhoff 2016). Diese umfasst nun einige der Wissensgebiete, die Leibniz selbst ganz offensichtlich am Herzen lagen und die sich in der Strukturierung des vorliegenden Buches wiederfinden (Abb. 1).

Die Leibniz'sche Handschrift verzeichnet unter den „strengeren“ (*severiores*) Wissenschaften (in unserem Detail ganz oben) an erster Stelle die Gruppe „*Philosophia Intellectualis*“, die neben „*Theoretica*“ (Logik und Metaphysik) auch „*Practica*“ (Ethik und Politik) umfasst. Dieses Spektrum spiegelt die für die Sektion I dieses Bandes zentrale philosophische Position *theoria cum praxi* (Theorie mit Praxis) wider. Die zweite Gruppe „*Philosophia Imaginabilium*“ enthält Mathematik (II) und Astronomie (III); und unter den „*Literae Humaniores*“ sind „*Philologia*“ und „*Historia*“ gelistet, worunter sich die im weitesten Sinn mit Sprache (IV) verbundenen Themenbereiche befinden.

Philosophie

Jürgen Mittelstrass untersucht Leibniz' Ziel einer einheitlichen enzyklopädischen Wissensbildung vor dem Hintergrund frühneuzeitlicher Diskurse und schließt mit einem Plädoyer für ein historisch reflektiertes Wissen. Hans Poser wirft am Beispiel der von Leibniz anvisierten *scientia generalis* die Frage nach der theoretischen, methodischen und sprachlichen Einheit der Wissenschaften auf. Carl Friedrich Gethmann fragt nach den wissenschaftsethischen Implikationen der Losung *theoria cum praxi*. Anhand der Unterscheidung zwischen esoterischem und exoterischem Wissen weist er auf das Machtpotential der Institution „Wissen“ hin und fordert transparente Verfahren der Wissensbildung und Wissensvermittlung. Sibylle Krämer sieht in Leibniz einen Vordenker der Idee des Netzes und des Netzwerkes. Ihre Hypothese ist, dass die Netz- und Vernetzungsidee bei Leibniz in ganz unterschiedlichen theoretischen und praktischen Bereichen diagnostizierbar ist. Horst Bredekamp untersucht, inwiefern Leibniz' genuines Interesse an der materiellen Praxis des Schreibens und an den Strukturen des Schriftbildes Einfluss auf sein Denken genommen hat und fragt nach den Folgen, die das Bildliche als Objekt und Mittel der Erkenntnis für Leibniz' Metaphysik und für die Etablierung der Ästhetik als Wissenschaft hatte.

Mathematik

Ausgehend von historischen Quellen der Erhebung und Analyse größerer Datensammlungen aus Leibniz' Zeit verfolgt Thomas Lengauer die Möglichkeiten und Risiken der Datenanalyse von „Big Data“ und wählt als Anwendungsbeispiel die Medikamentenforschung. Johannes Buchmann geht den historischen Vorreitern der Verschlüsselungstechnik nach, zeigt die Komplexität heutiger Chiffrierverfahren auf und fragt nach den Grenzen der Geheimhaltung im Internetzeitalter. Eberhard Knobloch nimmt in seinem ersten Beitrag den Prioritätsstreit zwischen Leibniz und Newton zum Anlass, um nach Originalitätsansprüchen in der Wissenschaft heute zu fragen. Sein zweiter Aufsatz ist Leibniz' Schriften zum Versicherungswesen und zur

Altersvorsorge gewidmet, in denen sich der Gedanke der Solidarität mit ganz konkreten Überlegungen zur Zinsrechnung verbindet. Darauf folgt Günter Schmidts Beitrag zu den Begriffen von Solidarität und Gerechtigkeit in der heutigen Versicherungswirtschaft. Horst Zuse blickt zurück auf die Pionierarbeit seines Vaters Konrad Zuse, der vor 75 Jahren die Z3, den ersten frei programmierbaren, binären Rechner, das Protomodell des heutigen Computers präsentierte.

Astronomie

Klaus Dieter Herbst bietet mit seinem Aufsatz über Johannes Hevelius und Gottfried Kirch einen wissenschaftshistorischen Blick auf die astronomische Forschung zu Leibniz' Zeit. Kirch wurde als Astronom und Kalendermacher von Leibniz zum ersten Mitglied der frisch gegründeten Sozietät der Wissenschaften ernannt. Roland Wielen erläutert das im Mai 1700 vom Brandenburgischen Kurfürsten Friedrich III. erlassene Kalender-Edikt. Das der Akademie damit verliehene alleinige Recht zur Herausgabe von Kalendern stellte bis ins 19. Jahrhundert hinein die Finanzierung der Akademie sicher. Ausgehend von der Tatsache, dass Astronomie seit je her auf die Bestimmung von Entfernungen angewiesen war, geht Matthias Steinmetz dem Einfluss nach, den die verschiedenen historischen Vermessungsmethoden auf unsere Vorstellung von „der Welt“ ausübten. Günther Hasinger zeigt, dass die Geschichte der Planetenforschung eng mit der Erfindung der Infinitesimalrechnung zusammenhängt. So waren es Newtons „Himmelsmechanik“ und Leibniz' Differentialrechnung, die für die Entdeckung des Neptun 1846 den Weg ebneten.

Sprache

Jürgen Trabant zeigt anhand von sprachpolitischen Schriften Leibniz', dass Leibniz angesichts der Dominanz des Französischen auf der einen Seite den Verlust der Vielfalt der deutschen Sprache befürchtet, auf der anderen Seite aber auch Entlehnungen und Neologismen als Erweiterungen des Sprachenspektrums begrüßt hat. Wenchao Li bietet einen Überblick über Leibniz' sprachphilosophische Unternehmungen und zeigt deren zentralen Stellenwert für die Leibniz'sche Philosophie und umgekehrt: Einerseits sind Logik und Monadologie ohne Zeichentheorie nicht denkbar, und andererseits strebt Leibniz mit seinem Projekt der *Characteristica Universalis* eine auf Kalkülen basierende rationale Grammatik an. Toon van Hal führt Leibniz' Interesse an Vaterunserübersetzungen auf sein Verständnis von Sprache als Zeugnis der Menschheits- und Kulturgeschichte zurück. Auch wenn das Vaterunser sprachlich wenig komplex war, macht doch allein die Tatsache ihrer weltweit unvergleichbaren Verbreitung die Übersetzungen zu wertvollen Sprachproben. China und die Post, so behauptet Paul Feigelfeld, haben das Leibniz'sche Denken entscheidend beeinflusst: Der Ausbau des Postwesens hat dabei nicht nur den Austausch zwischen China und Europa ermöglicht, sondern auch das Netzwerkdenken befördert, das letztlich solchen Projekten wie der *Characteristica Universalis* zugrunde liegt. Andrea Bréard untersucht die Renaissance von Leibniz' Sprachprojekt einer Universalsprache zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Neben Esperanto und Volapük widmet sie sich vor allem Giuseppe Peanos Konzept des *Latino sine flexione*, einer Art vereinfachten Lateins für die wissenschaftliche Kommunikation, das sich explizit auf Leibniz bezieht.

Danksagung

Wir danken allen, die an der Herausgabe dieses Bandes beteiligt waren, und denen, die zum Gelingen des Leibniz-Jahresthemas beigetragen haben. Für die inhaltliche Konzeption der Jahresthemenaktivitäten zu Leibniz bedanken wir uns insbesondere bei den übrigen Mitgliedern des wissenschaftlichen Beirats: Martin Aigner, Horst Bredekamp, Sybille Krämer, Jürgen Mittelstraß, Christoph Marksches, Constanze Peres, Günter Stock und Melanie Trede. Ebenfalls großer Dank geht an Gisela Lerch, die auch dieses Jahresthema wieder mit Rat und Tat begleitet hat, sowie an Simone Pfeil und Can Tunc für ihre unermüdliche organisatorische, administrative und redaktionelle Mitarbeit hinter den Kulissen.

Für die produktive Zusammenarbeit bedanken wir uns zudem bei unseren Kooperationspartnern: der Archenhold Sternwarte, der Wilhelm-Foerster-Sternwarte mit Planetarium am Insulaner und dem Zeiss-Großplanetarium in Berlin, der CYSEC Cybersecurity Profile Area der Technischen Universität Darmstadt, dem Wissenschaftsportal der Gerda Henkel Stiftung L.I.S.A., der Hector Fellow Academy in Karlsruhe, der Hochschule für Bildende Künste Dresden, dem Forschungsinstitut für Synthetische Biologie ISTHMUS SARL in Paris, dem Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin, der Leibniz-Gemeinschaft, dem Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam, und dem STATE Festival, Berlin. Für ihre finanzielle Unterstützung bedanken wir uns bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die Förderung der Veranstaltungsreihe „Leibniz und die Sterne“ sowie bei der Schering Stiftung für die Förderung der Podiumsdiskussion „The Future of Life is Synthetic. The Promises of Xenobiology“. Ganz besonderer Dank gebührt der Robert Bosch Stiftung, die als Hauptförderin des Jahresthemas die wesentliche finanzielle Grundlage für die Umsetzung eines so umfangreichen wie facettenreichen Programms geliefert hat.

Berlin, November 2016

Martin Grötschel
Eberhard Knobloch
Juliane Schiffers
Mimmi Woisnitza
Günter M. Ziegler

Anmerkungen

1. Dokumentiert sind alle Veranstaltungen in der Mediathek des Jahresthemas: http://jahresthema.bbaw.de/2015_2016/mediathek.
2. Die Beiträge können unter http://jahresthema.bbaw.de/2015_2016/objekt_des_monats nachgelesen werden.
3. http://jahresthema.bbaw.de/2015_2016/mediathek/filmdokumentation/film

Literatur

- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1768). *Opera Omnia*. Hrsg. von Louis Duteus. Genf.
- (seit 1923). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Berlin/Boston: De Gruyter.
- Waldhoff, Stephan: „Leibniz' Entwürfe einer Bibliothekssystematik“. *Leibniz-Objekt des Monats* Februar. http://jahresthema.bbaw.de/2015_2016/objekt_des_monats/februar (besucht am 19. 9. 2016).

Teil I

Theorie mit Praxis

Einleitung

Der Weltzweck ist nach Leibniz die Verwirklichung einer besten Welt, die in ihrer Mannigfaltigkeit Harmonie ist. Diesem Ziel hat sich Leibniz zeit seines Lebens verpflichtet gefühlt. Er wollte zum Fortschritt der Menschheit, zum Gemeinwohl beitragen und hat sich auch durch Fehlschläge und Enttäuschungen von seinen entsprechenden Bemühungen nicht abbringen lassen, wie ungezählte Denkschriften zur Gründung von Akademien und Briefe bezeugen.

Sein Denken war deshalb ein Denken in Zusammenhängen. Das vorhandene theoretische und praktische Wissen der Menschen sollte in Enzyklopädien zu deren Nutzen erfasst und dargestellt werden. Seine geplante *scientia generalis* verband von Anbeginn die Erkenntnismethode mit der Ausrichtung auf Lebens-Dienlichkeit, die *Theorici* sollten *Empiricis felici connubio conjungirt* werden, wie er um 1671 formulierte (Leibniz 1983, IV.1., 536). Die menschliche Vernunft vereinte die Theorie mit der Praxis, *theoria cum praxi*.

Dieses Leitmotiv prägte seine Denkschriften insbesondere zur Gründung der kurfürstlichen *Societaet der Wissenschaften* zu Berlin. Die Praxis stand damit nicht nur gleichberechtigt neben der Theorie – es hieß ja nicht *theoria et praxis* – sondern wurde Bestimmungsgröße der Theorie:

Wäre demnach der Zweck Theoriam cum praxi zu vereinigen, und nicht allein die Künste und die Wissenschaften, sondern auch Land und Leute, Feld-Bau, Manufacturen und Commerciën, und mit einem Wort die Nahrungs-Mittel zu verbessern, über dieß auch solche Entdeckungen zu thun, dadurch die überschwengliche Ehre Gottes mehr ausgebreitet, und dessen Wunder besser als bißher, erkannt, mithin die Christliche Religion auch gute Policy-Ordnung und Sitten theils bei Heydnischen theils noch rohen, auch wohl gar Barbarischen Völkern, gepflanzt oder mehr ausgebreitet würden. (Leibniz seit 1923, IV.8, 426)

Der Text macht deutlich, dass es Leibniz nicht nur um die Verbesserung des Lebensstandards der Bevölkerung ging, sondern auch um die Erweiterung des menschlichen Wissens, also die Vervollkommenung des Geistes, und den Ruhm Gottes. Dementsprechend umfassend konzipierte Leibniz die Akademie der Wissenschaften. In ihr nahm das Motto *Theoria cum praxi* institutionelle Gestalt an. Die Akademie sollte als Aufsichtsbehörde etwa über Versicherungen und das Unterrichtswesen über eine Bibliothek, einen botanischen Garten, über Sammlungen aller Art, über ein *theatrum naturae et artis*, verfügen. 1992 richtete seine Akademie in Berlin, die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, ganz im Sinne der Leibniz'schen Akademiekonzeption als erste deutsche Akademie der Wissenschaften eine technikwissenschaftliche Klasse ein.

Literatur

Leibniz, Gottfried Wilhelm (1983). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Berlin: Akademie der Wissenschaften.

— (seit 1923). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen.

Enzyklopädische Wissensordnungen

Wenn die Philosophie träumt, spricht sie von der Einheit des absoluten Geistes; wenn die Wissenschaft träumt, spricht sie von der Einheit der Wissenschaft. Beider Träume richten sich kritisch auf die Erfahrung zunehmender Komplexität, die Zerlegung des philosophischen und des wissenschaftlichen Bewusstseins in unzusammenhängende Partikularitäten, den Verlust einer Orientierungsfunktion, die sich von alters her mit Philosophie und Wissenschaft verband. Träumend wird noch einmal die Idee einer Einheit der Welt ins philosophische und wissenschaftliche Auge gefasst, die sich in der Einheit des Wissens Ausdruck verschafft. Unüberschaubare Strukturen, auseinanderlaufende Erfahrungen und Rationalitäten sollen wieder zu geordneter Endlichkeit geführt, das Komplex soll einfach werden. Seinen philosophischen Ausdruck findet diese Idee der Einheit etwa in Hegels Bemerkung, dass „die ganze Philosophie [...] nichts anderes als das Studium der Bestimmungen der Einheit“ sei (Hegel 1965: 113), seinen wissenschaftlichen bzw. wissenschaftstheoretischen Ausdruck im Begriff eines Systems der Wissenschaft oder dem einer Enzyklopädie. Es geht um Geschlossenheit und Ordnung.

Sapientis est ordinare – die Sache des Wissenden ist die Ordnung, heißt es, auf Aristoteles verweisend, bei Thomas von Aquin (S. th. I, qu. 40, art. 6). So alt wie das Wissen ist der Versuch, seine innere Einheit in einer erkennbaren Ordnung zum Ausdruck zu bringen. Die vorsokratische Naturphilosophie beginnt mit einer Prinzipien Diskussion, die Aristotelische Metaphysik, als Fundament allen partikularen Wissens entworfen, verbindet diese Diskussion, ihr gleichzeitig zu einer systematischen Form verhelfend, mit einer wissenschaftstheoretischen Architektur, die Euklidische Geometrie realisiert eine derartige Architektur exemplarisch. Was sich seither als Wissen – unter einer philosophischen oder wissenschaftlichen Perspektive – auszuweisen sucht, tut dies in einer Form, die über das Wissen im Einzelnen in systematischer Weise hinausweist (das Folgende in Wiederaufnahme von Mittelstraß 2005a: 53–67).

Was treibt die Wissensbildung über das einfache Wissen hinaus? Was lässt die Frage nach Fundamenten des Wissens und einer Architektur des Wissens so wichtig erscheinen? Genügt es nicht zu wissen? Muss sich das Wissen seiner spezifischen Form auch noch bewusst werden? Und muss sich dieses Bewusstsein auch noch selbst zu Bewusstsein bringen? Offenbar verbinden sich mit dem Begriff des Wissens von Anfang an Vorstellungen, die sich, jedenfalls im wissenschaftlichen Raum, mit *Forschung* und deren Resultaten nicht zufriedengeben, sondern darüber hinaus die Wissensbildung bzw. deren Status im System menschlicher Orientierungen von bestimmten Formen der *Darstellung* abhängig zu machen suchen. Die Begriffe der *theoria* und des *Systems*, ursprünglich mit planetarischen, also himmlischen Ordnungen in Verbindung gebracht, bringen dies auf eine von Anfang an anspruchsvolle philosophische Weise zum Ausdruck. Kein Wunder, dass auch Enzyklopädien, mit denen man in systematischer Absicht darzustellen begann, was man wusste, von derartigen Vorstellungen zeugen. Von diesen soll hier die Rede sein, von ihrer

Idee und benachbarten Begriffen, in denen sich diese Idee – wie in den Begriffen eines Alphabets des Denkens und einer Einheit des Wissens – spiegelt.

1 Der enzyklopädische Geist

Schon über der griechischen Entdeckung der Vernunft und der Wissenschaft weht der enzyklopädische Geist. Der erfolgreiche Versuch, nach langen mythischen Wegen auf eine rationale Weise in der Welt Fuß zu fassen, bringt sich nicht nur forschend, sondern auch ordnend und systematisierend zur Geltung. Der Verstand entdeckt und baut; er ist nicht nur ein forschender, sondern auch ein architektonischer Verstand. Der Wissenschaft folgt die Wissenschaftstheorie (dokumentiert in den Aristotelischen *Zweiten Analytiken*) auf dem Fuße. Das heißt, schon für die Griechen erfolgt die Wissensbildung nicht nur im Modus der Forschung, sondern auch im Modus der Darstellung. Wissen ist nicht nur entdecktes und bestätigtes Wissen, sondern auch geordnetes, systematisch reorganisiertes Wissen. Es hat eine einsichtige Struktur, fügt sich in eine systematische Ordnung ein, verschafft sich einen systematisch geklärten Ausdruck. Dies gilt als ebenso wichtig und konstitutiv für den Begriff des Wissens wie für den des wissenschaftlichen Fortschritts. Neben *historia*, das Reich der Kenntnisse, tritt *theoria* als Inbegriff der intelligenten Natur des Menschen und, nach Aristoteles, höchste Praxis (Arist. Eth. Nic. K7.1177a12ff.). Ausdruck dieser Vorstellung ist einerseits die Idee des Systems, etwa in Form der Geometrie oder der Astronomie, andererseits die Enzyklopädie, anfangs und immer wieder selbst mit der Idee eines Systems des Wissens verbunden. Dazu einige teils historische, teils systematische Bemerkungen.

Als wissenschaftssystematischer Terminus und Titel universaler Handbuchliteratur stellt der Ausdruck ‚Enzyklopädie‘ eine humanistische Rückübersetzung der lateinischen Wendung *orbis doctrinae* (auch: *orbis disciplinarum* und *encyclios disciplina*) ins Griechische dar. Die am Ende des 15. Jahrhunderts ‚wiederentdeckte‘ griechische Wendung ἐγκύκλιος παιδεία bedeutete dabei ursprünglich nicht (wie in der enzyklopädischen Tradition irrtümlich angenommen) ‚Kreis der Wissenschaften‘, in den zum Zwecke umfassender Bildung und auf dem Wege einer ‚handbuchmäßig‘ aufgearbeiteten Sammlung des gesamten Wissens eingeführt werden sollte, sondern die ‚chorische‘, im wesentlichen musische Erziehung des Freien (Mittelstraß 2005b: 343–348; Dierse 1977). Ein derartiges, in der Bildungsbewegung des 5. vorchristlichen Jahrhunderts formuliertes Bildungsideal wird von Platon (im Rahmen der Pädagogik des Höhlengleichnisses) durch den direkten Anschluss an die ‚exakten‘ Wissenschaften (Arithmetik, Geometrie, Astronomie, rationale Harmonienlehre) erweitert, führt von daher zum ‚propädeutischen‘ Titel *orbis doctrinae* und wird dann, jetzt tatsächlich im Sinne eines ‚Kreises der Wissenschaften‘, in Form der *artes liberales* institutionalisiert.

Maßgebend für diese Entwicklung sind das teils in Prosa, teils in Versen verfasste Werk *De nuptiis Philologiae et Mercurii* des Martianus Capella im 5. Jahrhundert – die Brautgeschenke Merkurs sind die sieben ‚freien Künste‘: Grammatik, Rhetorik, Dialektik, Arithmetik, Geometrie, Astronomie, Musik –, die *Institutiones divinarum et saecularium litterarum* (eine Verbindung der *artes liberales* mit theologisch-kirchlichen Lehrstücken) Cassiodors und, im 6. bzw. 7. Jahrhundert, die *Origines* oder *Etymologiae* Isidors von Sevilla – eine in fast 1000 Hand-

schriften überlieferte Ergänzung ‚enzyklopädischen‘ Wissens um Disziplinen wie Medizin, Recht, Geschichte und Geographie. Diese frühen, später als ‚Enzyklopädien‘ bezeichneten Werke bilden die Grundlage für die in der mittelalterlichen Tradition insbesondere bei Hrabanus Maurus, Hugo von St. Viktor und Vinzenz von Beauvais weiter ausgearbeitete Kodifizierung des Wissens.

Während bei Isidor von Sevilla eine Erweiterung der *artes liberales* rein kompilatorisch erfolgt, unterscheidet Hugo von St. Viktor unter Aristotelischen Orientierungen, die über Porphyrios, Boethius und Cassiodor die enzyklopädische Tradition erreichen, zwischen theoretischer, praktischer und poetischer (oder ‚mechanischer‘) Philosophie sowie Logik. Theoretische Philosophie umfasst Theologie, Physik und Mathematik, praktische Philosophie im wesentlichen Ethik und Politik, poetische Philosophie die schon bei Martianus Capella dem Merkur als Gegengabe zugeordneten mechanischen Künste; Logik weist über einige zusätzliche Unterscheidungen die Disziplinen des Trivium (Grammatik, Rhetorik, Dialektik) aus. Das *Speculum maius* des Vinzenz von Beauvais, die umfassendste, aus etwa 2000 Quellen zusammengestellte Enzyklopädie des Mittelalters, führt in vier Teilen, angeführt von einem theologischen Teil (*Speculum naturale*), bereits mehr als 20 Disziplinen auf. Dabei bleibt die Rangfolge ‚göttlicher‘ und ‚weltlicher‘ Dinge zugunsten der göttlichen im Aufbau mittelalterlicher Enzyklopädien die Regel; sie wird erst bei den Humanisten zugunsten der weltlichen Dinge verändert.

Die vor allem in der institutionellen Verbindung mit den *artes liberales* dokumentierte Bedeutung von Enzyklopädie als Darstellung des ‚Kreises der Wissenschaften‘ in geordneter Form bestimmt die Geschichte der ‚Enzyklopädie‘ genannten Werke (vornehmlich ausgedrückt in Titeln wie ‚Encyclopaedia‘, ‚Cyclopaedia‘, ‚κυκλοπαιδεία‘) bis ins 19. Jahrhundert und lässt Enzyklopädien in diesem Sinne zur Grundlage einer historischen Phänomenologie des Geistes werden. Diese Bedeutung wird auch terminologisch festgehalten, z. B. in Johann Heinrich Zedlers monumentalem, 64 Bände und 4 Supplementbände umfassendem *Großen vollständigen Universal-Lexicon aller Wissenschaften und Künste* (1732–1754):

‚Encyclopaedia‘, ‚ἐγκυκλοπαιδεία‘ von ἐγκύκλιος, circularis. Ist ein Zusammenbegriff aller Wissenschaften, welche die Alten in eins zusammen brachten, um dadurch die Ordnung, wie sie aufeinander folgten, vorzustellen. (Zedler 1734: Spalte 1138)

Zuvor hatte Johann Heinrich Alsted zu Beginn der neuzeitlichen Entwicklung in seiner siebenbändigen, 1630 erschienenen Enzyklopädie zwischen drei Enzyklopädiebegriffen unterschieden, nämlich Enzyklopädie (Alsted 1630) als Repräsentation (1) der *artes liberales*, (2) aller ‚philosophischen‘ Disziplinen (‚philosophisch‘ dabei im ursprünglichen, die Wissenschaften einschließenden Sinne), (3) alles dessen, was sich lehren lässt. Der dritte Begriff, den Alsted selbst vertritt, setzt sich in der neuzeitlichen Entwicklung durch, wobei in der Regel zwischen klassifikatorischen Gesichtspunkten im engeren Sinne und dem Gesichtspunkt einer umfassenden inhaltlichen Repräsentation des Wissens nicht streng unterschieden wird.

Ihre eindrucksvollste Manifestation findet der Begriff der Enzyklopädie in dem zuletzt genannten Sinne in der von Diderot und d’Alembert herausgegebenen, 17 Text- und 11 Tafelbände, dazu vier Supplement-Textbände, einen Supplement-Tafelband und zwei Indexbände umfassenden großen französischen Enzyklopädie mit dem Titel „Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers“ (1751–1780). So heißt es in Diderots Artikel *encyclopédie* (im fünften Band), dass eine Enzyklopädie darauf abziele,

die auf der Erdoberfläche verstreuten Kenntnisse zu sammeln, das allgemeine System dieser Kenntnisse den Menschen darzulegen, mit denen wir zusammenleben, und es den nach uns kommenden Menschen zu überliefern, damit die Arbeit der vergangenen Jahrhunderte nicht nutzlos für die kommenden Jahrhunderte gewesen sei. (635)

Diese wissenschaftliche Rolle verbindet sich mit einer pädagogischen Intention („damit unsere Enkel nicht nur gebildeter, sondern gleichzeitig auch tugendhafter und glücklicher werden, und damit wir nicht sterben, ohne uns um die Menschheit verdient gemacht zu haben“) zur Formel ‚Aufklärung durch wissenschaftliche Bildung‘ (Selg und Wieland 2001: 68). Damit wird in der Idee der Enzyklopädie nicht nur eine allgemeine Harmonie des wissenschaftlichen und des gebildeten Interesses vorausgesetzt, sondern die vordringliche Aufgabe einer unter dieser Idee geschriebenen Enzyklopädie darin gesehen, den Bildungsprozess der bürgerlichen Gesellschaft, der sich im 18. und 19. Jahrhundert im öffentlichen Raisonement zur Geltung bringt, durch eine umfassende Unterrichtung zu fördern. Mit anderen Worten: es geht nun nicht zuletzt auch um die Transformation gelehrten Fleißes in ein Instrument gesellschaftlicher Erneuerung.

In dem ‚zusammengesetzten‘ Titel der französischen Enzyklopädie steht, entsprechend den Intentionen der bisherigen enzyklopädischen Tradition, ‚encyclopédie‘ für ein wissenschaftssystematisches, nämlich klassifikatorisches Programm, ‚dictionnaire raisonné‘ für das Programm einer universalen Magazinierung des Wissens (d’Alembert 1751, I). Im wissenschaftssystematischen Programm Diderots und d’Alemberts soll sich ein *ordre encyclopédique* als identisch mit dem *ordre systématique* erweisen. Daher im Übrigen auch die Feststellung Diderots, dass nur ein philosophisches Zeitalter eine derartige Enzyklopädie wagen könne (Diderot seit 1875: XIV, 473–474). Die Enzyklopädie (auch wieder im ursprünglichen griechischen Sinne) erschöpft sich weder in der bloßen Akkumulation gegebenen Wissens noch in einer vorgegebenen dogmatischen Architektur; sie ist vielmehr Ausdruck der philosophischen und als solcher auch wissenschaftlichen Arbeit selbst – Forschung und Darstellung.

2 *Das Leibnizprogramm*

Nirgendwo kommt die wissenschaftstheoretische Idee, wissenschaftliche Forschung und Darstellung unter Rückgriff auf eine enzyklopädische Form miteinander zu verbinden, zugleich den systematischen Anspruch der Enzyklopädie – System vor Akkumulation – hervorhebend, eindrucksvoller zur Geltung als in der Leibnizschen Konzeption einer *Universalwissenschaft*. Mit der Idee des Systems teilt diese Konzeption die Vorstellung einer konstruierbaren Architektur des Wissens, mit der Idee der Enzyklopädie die Vorstellung seiner inhaltlichen Repräsentation. Den Ausgangspunkt bilden die formalen Wissenschaften, doch sollten auch die empirischen Wissenschaften als Teil eines einheitlichen Aufbaus aller Wissenschaften erfasst werden. Immerhin führt die Betonung formaler Wissenschaften zur Unterscheidung zwischen dem generellen Programm einer Universalwissenschaft (*scientia universalis*) und dem eingeschränkten Programm einer *mathesis universalis*, d. h. dem Versuch, zumindest die Struktur formaler Wissenschaften in mechanisch und kalkülmäßig kontrollierbaren Abhängigkeitsbeziehungen darzustellen. Damit gewinnt der enzyklopädische Gedanke eine neue systematische Grundlage. Ins Auge gefasst ist

die (systematische und enzyklopädische) Einheit der Wissenschaft in der Einheit einer exakten Wissenschaftssprache.

Die Unterscheidung zwischen einer Universalwissenschaft, die alle Wissenschaften umfassen soll, und einer *mathesis universalis*, die methodische Dinge betrifft, tritt bereits bei Descartes auf, wobei nicht die inhaltliche Einheit in einem System der Wissenschaften, sondern ihre methodische Einheit in einer Theorie der Größen und Größenverhältnisse ins Auge gefasst wird. Was bei Descartes, auch in seiner Orientierung an der geometrischen Analysis, noch fehlt, um den Gedanken einer Einheit des Wissens und der Wissenschaft auch konkret über die Geometrie hinauszuführen, ist eine Mathematisierung bzw. Logisierung der Methodenkonzeption, die den konstruktiven oder operativen Charakter dieser Konzeption deutlich zum Ausdruck gebracht hätte. Eben dies ist der Kern der *mathesis universalis*-Konzeption im 17. und 18. Jahrhundert. Die Wissensbildung allgemein, nicht nur, wie bei Descartes, die geometrische, soll als das Resultat eines Operierens nach festen Regeln aufgefasst werden. Im operativen Paradigma der Wissensbildung wird Wissen nicht *aufgesucht* oder *entdeckt*, sondern *hergestellt*. Es sind die Verfahren der Wissensbildung, die als konstitutiv für die Form des Wissens und für die ‚epistemische‘ Form der Gegenstände des Wissens gelten sollen.

Eben dies ist auch der Kerngedanke bei Leibniz und des so genannten *Leibnizprogramms*. So sucht Leibniz eine fundamentale Reorganisation des Wissens mit dem Ziel der Einheit der wissenschaftlichen Wissensbildung unmittelbar von einer Reorganisation der Wissenschaftssprache abhängig zu machen. Im Mittelpunkt steht die Konstruktion einer Kunstsprache (*characteristica universalis*), die auf der Basis einer Zeichentheorie (*ars characteristica*) zur Darstellung von Sachverhalten und deren Beziehungen untereinander sowohl logische Schluss- und Entscheidungsverfahren (*ars iudicandi*) als auch inhaltliche Begriffsbestimmungen auf der Basis einer Definitionstheorie (*ars inveniendi*, *ars combinatoria*) einschließen und inhaltlichen Schlussweisen die formale Sicherheit des Rechnens verleihen soll. Historisches Vorbild ist der sogenannte Renaissance-Lullismus, der sich nicht nur aus der Kombinatorik des katalanischen Theologen und Philosophen aus dem 13. Jahrhundert, Raimundus Lullus (Lullus 1721: 433–473), d. h. aus dem Projekt einer christlichen Universalwissenschaft, sondern auch aus alchimistischen und kabbalistischen Quellen speist. Leibniz erkennt, dass die lullistische Kombinatorik als Instrument der Forschung nicht taugt; er bemängelt die Unbestimmtheit der zugrundegelegten Begriffe, die dazu führe, „von der Wahrheit zu reden, keineswegs aber sie zu entdecken“ (Leibniz 1903: 177) und zeigt sich auch über entsprechende Bemühungen Athanasius Kirchers in dessen *Ars magna sciendi* (1669) enttäuscht (Leibniz seit 1923: VI,1, 279). Was Leibniz sucht, ist keine reine Klassifikationslehre (Lull), auch keine allgemeine philosophische Methodenlehre (Descartes), sondern ein *Formalismus* zur Bildung und Darstellung des Wissens. Der Aufbau der gesuchten Kunstsprache soll dabei der Idee folgen, die Relation der Begriffe dieser Sprache zu ihren Basisbegriffen in der gleichen Weise zu organisieren, wie sich die natürlichen Zahlen zu den Primzahlen verhalten (die eindeutige Rückführbarkeit aller Begriffe dieser Sprache auf gewisse Basisbegriffe soll der eindeutigen Primzahlzerlegung nachgebildet sein).

Leibniz geht es dabei vor allem um den Gesichtspunkt der *Entdeckung*, d. h. der *Wissensbildung*. Er sucht, in Anlehnung an die mathematischen Verfahren der Analysis und Synthesis, der analytischen Methode die von ihm gesuchte *ars inveniendi* und der synthetischen Methode die von ihm gesuchte *ars iudicandi* zuzuordnen, hebt aber auch den inventiven Cha-

rakter beider Methoden hervor (Leibniz 1903: 557). Hinzu tritt der Gedanke der *Kalkülisierung*: Die „Wahrheiten der Vernunft“ sollen „wie in der Arithmetik und Algebra so auch in jedem anderen Bereich, in dem geschlossen wird, gewissermaßen durch einen Kalkül erreicht werden können“² (Leibniz seit 1875: VII, 32). Paradigma einer derartigen Kalkülisierung ist der 1684 von Leibniz eingeführte Infinitesimalkalkül. Nach Leibniz stellen die Elemente eines Kalküls ein *Alphabet des Denkens* (*alphabetum cogitationum humanarum*) (Leibniz seit 1875: 220, 430, 435; Leibniz 1903: VII, 185, 199) und damit die gesuchte Universalsprache (*characteristica universalis*) dar. Die dieser Sprache zugrundeliegende Zeichentheorie wird in folgender Definition erfasst:

Die Zeichenkunst (*ars characteristic*) ist die Kunst, Zeichen derart zu bilden und zu ordnen, dass sie die Gedanken darstellen bzw. dass sie untereinander jene Beziehung haben, welche die Gedanken ihrerseits untereinander haben. Ein Ausdruck ist eine Ansammlung von Zeichen, welche die Sache, die ausgedrückt wird, vergegenwärtigen. Das Gesetz der Ausdrücke ist folgendes: dass ein Ausdruck für eine Sache aus den Zeichen für jene Sachen zusammengesetzt werde, aus deren Ideen die Idee der Sache, die ausgedrückt werden soll, zusammengesetzt wird. (Bodemann 1966: 80–81)

Die Grundzeichen dieser Sprache sollen in ihrer Zusammensetzung dem Aufbau der aus Elementarbegriffen zusammengesetzten Begriffe völlig isomorph sein; die Sprache selbst gilt als ‚charakteristisch‘, weil ihre Wörter aus endlich vielen Zeichen (Charakteren) nach bestimmten Kombinationsregeln hergestellt werden und jedes Zeichen den von ihm bezeichneten Begriff eindeutig, und zwar einschließlich dessen Beziehungen zu anderen Begriffen, ‚charakterisiert‘ (Thiel 2010: 523–524).

Die Verbindung dieser Konzeption mit der älteren Idee einer enzyklopädischen Ordnung des Wissens ist darin gegeben, dass Leibniz glaubt, das gesuchte Alphabet des Denkens unter Rückgriff auf gegebene lexikalische und enzyklopädische Werke gewinnen zu können. Er bittet Gallois, den Herausgeber des *Journal des Savants*, um Definitionen aus dem Lexikon der Académie Française (Leibniz seit 1923: II, 1, 428) und stellt selbst Definitionslisten zusammen, die teilweise der Anordnung der Stichwörter im *Lexicon Grammatico-Philosophicum* des schottischen Sprachtheoretikers Dalgarno entsprechen (Leibniz seit 1875: 437–510)³. Daneben finden sich Bemerkungen, wonach das gesuchte Alphabet nicht nur ein geeignetes Diktionär, sondern auch eine vollständige Enzyklopädie alles bisherigen Wissens voraussetzen müsste (Bodemann 1966: 97). Dem wiederum steht entgegen, dass es gerade die *characteristica universalis* sei, die das Projekt einer solchen Enzyklopädie, wie es sich in mehreren Entwürfen findet, zu befördern hätte (Leibniz seit 1923: II, 1, 240). Enzyklopädie und Alphabet des Denkens sollen in Leibniz’ Konzeption systematisch miteinander verbunden werden, aber sie finden, zum systematischen Schaden beider, nicht recht zueinander.

Insofern bleibt aber auch das Leibnizprogramm, selbst wenn man auf seine gelungenen Realisierungen in einem Infinitesimalkalkül und mehreren Logikkalkülen sieht, in dem Sinne Programm, dass es eine Einheit des Wissens und der Wissenschaft allenfalls in ihren methodischen Konturen, nicht schon den Aufbau einer solchen Einheit, der auch eine Enzyklopädie einschließen soll, erfasst. Zwar schließen z. B. wahrscheinlichkeitstheoretische Überlegungen empirische Formen der Wissensbildung, insofern auch Gesichtspunkte einer Wissenschaftstheo-

rie empirischer Wissenschaften, ein (Mittelstraß, Schröder-Heister 1986: 406 ff.; Mittelstraß 2011: 59–84), doch sind diese ebenso wie die Überlegungen zum Zusammenhang zwischen Alphabet und Enzyklopädie noch weit davon entfernt, das alte Versprechen einer Einheit des Wissens und der Wissenschaft und damit einer begrifflich gewordenen Einheit der Welt einzulösen.

Dasselbe Bild zeigt sich, wenn auch unter ganz anderen Gesichtspunkten als denjenigen eines Leibnizprogramms, zugleich das Konzept einer Enzyklopädie wieder in den Vordergrund rückend, bei Kant und Hegel. Nach Kant bildet eine Enzyklopädie das inhaltliche Komplement der ‚ihrer Natur nach architektonischen‘ Vernunft, insofern diese „alle Erkenntnisse als gehörig zu einem möglichen System“ betrachtet (Kant 1974: Kritik der reinen Vernunft B, 502). Eine Enzyklopädie dient daher der Absicht, ‚Kenntnissen‘ die Form eines Systems, nicht eines Aggregats zu geben (Kant seit 1902: IX, 158). Insofern dabei selbst die Transzendentalphilosophie in der Konzeption Kants in diesem Sinne als eine „Architectonische Encyclopädie“ bezeichnet wird, „welcher a priori ihr Formale zum Grunde liegt“ (Kritik der reinen Vernunft B, Kant seit 1902: XXI, 109), rücken auch hier die Begriffe des Ganzen, des Systems und der Enzyklopädie in einen engen, allerdings auch in diesem Falle nicht immer klaren Zusammenhang. Enzyklopädie steht hier offenbar für Form und Inhalt, ohne doch die Idee einer Transzendentalphilosophie im Sinne Kants selbst sein zu können.

Ähnlich stellt sich die Situation im Falle Hegels dar. Nach Hegel ist die Philosophie selbst, sofern jeder ihrer Teile das Ganze des Wissens nach Art eines ‚Kreises von Kreisen‘ (Hegel 1986: 61) in sich enthält, ‚Encyclopädie der philosophischen Wissenschaften‘ (Hegel 1986: 24). Auch hier geht es wieder, wie bei Kant, um die Abgrenzung der Begriffe System und Aggregat, wobei nun Enzyklopädien in ihrer historischen Form als universale Handbuchliteratur, trotz der in ihnen wirksamen klassifikatorischen Gesichtspunkte, unter den Begriff des Aggregats fallen:

Die philosophische Encyclopädie unterscheidet sich von einer andern gewöhnlichen Encyclopädie dadurch, dass diese etwa ein *Aggregat* der Wissenschaften seyn soll, welche zufälliger und empirischer Weise aufgenommen und worunter auch solche sind, die nur den Namen von Wissenschaften tragen, sonst aber selbst eine bloße Sammlung von Kenntnissen sind. (Hegel 1986: 61)

Damit fallen bei Hegel, im Unterschied zu der von der Enzyklopädie Diderots und d'Alemberts vertretenen und auch von Leibniz intendierten Konzeption, die ‚positiven‘ Wissenschaften aus dem ‚philosophischen‘ System der Wissenschaften heraus, womit der philosophische Begriff der Enzyklopädie in Gegensatz zur Entwicklung der enzyklopädischen Literatur und zur akademischen Unterrichtspraxis gerät, sofern Vorlesungen über Enzyklopädie die Funktion von Einleitungen besitzen. Die Folge ist eine Trennung der Begriffe System und Enzyklopädie: das eine, das System, ist nunmehr der Idee und der Funktion nach philosophisch (wissenschaftstheoretisch), die andere, die Enzyklopädie, propädeutisch.

Mit anderen Worten: der philosophische Geist sperrt sich gegen seine im 18. Jahrhundert begonnene Umrüstung auf einen enzyklopädischen Geist, indem er den in der Geschichte der enzyklopädischen Theorie intendierten Begriff der Enzyklopädie gegen deren eigene Gestalt wendet. Vergeblich, wie die weitere Geschichte zeigen wird, auch wenn diese, auf Seiten der Philosophie, noch einmal dem systematischen, sich in einem Leibnizprogramm wiedererkennenden Geist gehört.

3 *Die Einheit des Wissens*

Moderne wissenschaftstheoretische Vorstellungen einer Einheit der Wissenschaft, mit oder ohne Anbindung an enzyklopädische Konzeptionen, setzen dort an, wo schon das Leibnizprogramm seinen konzeptionellen Schwerpunkt hatte: bei der Wissenschaftssprache. Dies gilt insbesondere von den Vertretern des Wiener Kreises und des Logischen Empirismus. Man erinnert, wie Otto Neurath, an das (enzyklopädische) Projekt der Aufklärung (Dahms 1996: 54), ruft nach einem neuen d'Alembert (Dahms 1996: 54) und sucht eine einheitliche logische Syntax, die an die Stelle eines im wesentlichen klassifikatorischen Systems – so musste es aus der Sicht des Logischen Empirismus erscheinen – treten soll:

Haben wir in der Wissenschaft eine einheitliche Sprache, so verschwindet die Zerspaltung; die Wissenschaft selbst wird einheitlich. So ergibt sich aus der These des Physikalismus die These der ‚Einheitswissenschaft‘. (Carnap 1931: 462)

In der Tat ist es nunmehr die Sprache der Physik, die als Universalsprache der Wissenschaft, damit auch als einheitliche Grundlage der wissenschaftlichen Theoriebildung verstanden werden soll. Die These lautet, dass alle wissenschaftlichen Sätze in einer einzigen Sprache, eben der physikalischen, formulierbar sind.

Zusammen mit der weiteren These einer Einheit der Gesetze wird die Einheit der Wissenschaft zur physikalisch orientierten Einheitswissenschaft. So soll eine Konzeption, mit der das Leibnizprogramm und eine ältere Idee der Enzyklopädie endlich an ihr Ziel gelangen, durch eine Reduktion unterschiedlicher wissenschaftlicher Theorien auf die Theorien der Physik realisiert werden (Oppenheim und Putnam 1958: 3–36). Neben den historischen Hinweis, dass Reduktionen in der Wissenschaftsgeschichte immer wieder erfolgreich waren, tritt dabei auch ein heuristischer Gesichtspunkt: Das Prinzip der Reduzierbarkeit hat im Gegensatz zur Annahme einer Nicht-Reduzierbarkeit die wissenschaftliche Forschung maßgeblich gefördert (Oppenheim und Putnam 1958: 350). Die These der Einheitswissenschaft ist damit durch ein historisch-induktives Argument (die Wissenschaftsgeschichte ist durch erfolgreiche Reduktionen bestimmt; dies wird auch in Zukunft so sein), durch ein logisches Argument (der Vereinheitlichung aller Disziplinen stehen keine logisch-begrifflichen Hindernisse entgegen) und durch ein heuristisches Argument (das Programm einer Vereinheitlichung aller Disziplinen befördert die Suche nach umfassenden Theorien) gekennzeichnet.

Doch diese Argumente überzeugen nicht. So stellt die Geschichte der Wissenschaft keineswegs eine reduktionistische Fortschrittsgeschichte dar; die Zahl der gescheiterten Reduktionsprogramme ist größer als die Zahl der geglückten Programme (Beispiel: Plancks Versuch einer Reduktion der frühen Quantentheorie auf die Boltzmannsche statistische Mechanik). Ohne das historisch-induktive Argument verliert aber auch das logische Argument, obgleich es zutrifft, seine die These von der Einheitswissenschaft stützende Kraft; es sichert lediglich die Widerspruchsfreiheit der einheitswissenschaftlichen These. Schließlich ist auch das heuristische Argument zur Begründung der These zu schwach. So impliziert heuristische Fruchtbarkeit noch nicht sachliche Geltung, wie schon der Wissenschaftstheoretiker Duhem wusste (Duhem 1906: 41); auch ist die heuristische Fruchtbarkeit von Reduktionsansprüchen zweifelhaft. So hätte etwa im Falle der Entwicklung der Elektrodynamik im 19. Jahrhundert ein Bestehen auf der Einlösung

mechanistischer Reduktionsansprüche die Wissenschaftsentwicklung nicht befördert, sondern im Gegenteil behindert. Das aber bedeutet, dass sich die gesuchte Einheit der Wissenschaft auch nicht auf die Einheit der Gesetze stützen lässt.

Die weitere Entwicklung ist einerseits durch die Vorstellung einer einheitlichen *Methode*, die die Einheit der Wissenschaft zum Ausdruck bringe, andererseits durch den Hinweis auf neue Forschungsformen bestimmt. Während dabei die methodische Einheit in sehr allgemeiner Weise in der Einheit der wissenschaftlichen Rationalität bzw. in der Einheit wissenschaftlicher Rationalitätsstandards gesucht wird, richtet sich das Interesse an neuen Forschungsformen insbesondere auf fächer- und disziplinenüberschreitende und in diesem Sinne *transdisziplinäre*, also weniger theoretische als praktische, Zusammenhänge. Dahinter steht die Einsicht, dass Theorien und Methoden (im engeren Sinne), aber auch Forschungsgegenstände im traditionellen, disziplinären oder fachlichen Sinne sowie Forschungszwecke, die das historische und das wissenschaftssystematische Wesen der Disziplinen und Fächer ausmachen, Wissenschaft nur unzureichend definieren, was sich auch so ausdrücken lässt, dass die Zukunft der Wissenschaft nicht so sehr in ihrer Theorie- und Methodenform als vielmehr in ihrer Forschungsform liegt, d. h. darin, was sie in konkreten Forschungssituationen, etwa im Labor, tut. Mit anderen Worten, die Bemühungen um systemische und enzyklopädische Einheit verlagern sich unter der Idee der Transdisziplinarität in die Forschung selbst, nicht länger in deren systematisch geordnete Darstellung. Das bedeutet auch: Transdisziplinarität ist in erster Linie ein *Forschungsprinzip*, erst in zweiter Linie ein Theorieprinzip, und dieses auch nur, insofern Theorien auf transdisziplinär orientierter Forschung beruhen.

Damit drückt sich die Einheit der Wissenschaft einerseits in der Einheit der wissenschaftlichen Rationalität bzw. in der Einheit der wissenschaftlichen Rationalitätskriterien, andererseits in der Einheit transdisziplinärer Forschung, d. h. in einer (im weiteren Sinne) methodischen und in einer praktischen Einheit, aus. Wer die Einheit der Wissenschaft dagegen in der Einheit eines Lehrgebäudes sucht, wird sie (wie der Logische Empirismus) verfehlen. Sie ist wohl allein noch als praktische Forschungsform gegeben, d. h. als Einheit der wissenschaftlichen Praxis.

Im Augenblick sieht es allerdings so aus, als ob die Realisierung eines alten Traumes in ganz anderer Weise gesucht wird. An die Stelle des ‚Kreises des Wissens und der Wissenschaften‘, der einmal der Vorstellung einer systematisch geordneten Geschlossenheit des Wissens Ausdruck verschaffte, ist das offene Netz des Wissens getreten. Auf dieses Netz richten sich heute alle ökonomischen, politischen und eben auch epistemischen Verheißungen. Ob diese auch eintreffen werden, darf allerdings, auch mit Blick auf die höchst anspruchsvollen und dennoch vergeblichen Anstrengungen, die sich früher mit diesem Traum verbanden, bezweifelt werden. Das Netz sammelt, aber es ordnet nicht, und es weiß alles, aber es denkt nicht. Damit entfallen auch alle Bemühungen, die sich bisher an den Begriff einer systematischen Einheit des (philosophischen und wissenschaftlichen) Wissens und in Verbindung damit an den Begriff einer systematisch orientierten Enzyklopädie knüpften. Zwischen relevantem Wissen und einem irrelevanten Wissen (vom rein Zufälligen bis zum Wissensmüll) wird nicht mehr unterschieden.

Daneben fallen (erkenntnis- und wissenschaftstheoretisch relevant) das Historische und das Systematische auseinander; das Historische verliert seine Gegenwart und das Systematische seine Erinnerung. Beides hat sich nichts mehr sagen. Die Fähigkeit, das Systematische auch historisch, d. h. unter Bedingungen seines Werdens, und das Historische auch systematisch, d. h. unter

Bedingungen seines Begreifens, zu denken, geht verloren. Und mit dieser Fähigkeit auch das Vermögen der Orientierung, hier in philosophischen und wissenschaftlichen Verhältnissen. Dagegen die Idee der „Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie“, der moderne Versuch, das philosophische und das wissenschaftliche Wissen wieder in systematisch und enzyklopädisch reflektierten Kategorien zu denken: „Auch in systematischen Dingen (kommt es) darauf an, nicht etwa ohne Geschichte zu sein oder ein Verhältnis zur Geschichte als bloße Aneignung von Vorgeschichte zu regeln, sondern das, was man weiß, *historisch reflektiert* zu wissen. Umgekehrt gibt in der Philosophie auch ein historisches Wissen, das nicht zugleich *systematisch geführt* ist, keine vernünftigen Orientierungen.“ (Mittelstraß 2005b: I, 7) Von beidem wird aber abhängen, ob wir – System hin, Einheit her – in Zukunft Herr und Herrin unserer philosophischen und wissenschaftlichen Orientierungen bleiben oder nicht. Und in eben in diesem Sinne ist auch heute das Leibnizprogramm noch nicht abgeschlossen.

Anmerkungen

1. Strab. I, 1.22; Quint. Inst. orat. I, 10.1; Plin. Hist. nat. praef. § 14; Plut. mor. 2.1135e.
2. Teil eines nicht abgesandten Briefes an Caspar Rödeke aus dem Jahre 1708.
3. Das Lexikon Dalgarnos befindet sich auf einem Faltblatt zu Beginn der *Ars Signorum* (London 1661).

Literatur

- Alsted, Johann Heinrich (1630). *Encyclopaedia*. Herborn.
- D'Alembert, Jean le Rond (1751). *Discours préliminaire à l'Encyclopédie*. URL: <http://encyclopédie.eu/index.php/discours-preliminaire/1-discours-preliminaire> (besucht am 5.10.2016)
- Bodemann, Eduard (1966). *Die Leibniz-Handschriften der Königlichen Öffentlichen Bibliothek zu Hannover*. Hildesheim: G. Olms.
- Carnap, Rudolf (1931). „Die physikalische Sprache als Universalsprache der Wissenschaft“. In: *Erkenntnis*, Band 2. Leipzig: Felix Meiner Verlag, S. 432–465.
- Dahms, Hans-Joachim (1996). „Vienna Circle and French Enlightenment. A Comparison of Diderots ‘Encyclopédie’ with Neuraths ‘International Encyclopedia of Unified Sciences’“. In: *Encyclopedia and Utopia*. Hrsg. von Elisabeth Nemeth und Friedrich Stadler. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, S. 53–61.
- Diderot, Denis (seit 1875). *Oeuvres complètes. Band 14*. Hrsg. von Jules Assézat. Paris: Garnier.
- Dierse, Ulrich (1977). *Zur Geschichte eines philosophischen und wissenschaftstheoretischen Begriffs*. Bonn: Bouvier Verlag.
- Duhem, Pierre (1906): *La Théorie physique. Son objet et sa structure*. Paris: Chevalier & Rivière.
- (1981) *La théorie physique. Son objet – sa structure*. Paris 21981. (dt. *Ziel und Struktur der physikalischen Theorien*, Hg. v. L. Schäfer, Hamburg 1978, 36–37).
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich (1965). *Sämtliche Werke. Band 15. Vorlesungen über die Philosophie der Religion I*. Hrsg. von Hermann Glockner. Stuttgart: Frommann-Holzboog Verlag.
- (1986). *Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften I*. Werke 8. Frankfurt a. M.: Suhrkamp Taschenbuch-Wissenschaft.
- Kant, Immanuel (seit 1902). *Gesammelte Schriften*. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Berlin/Boston: Walter de Gruyter.
- (1974). *Kritik der reinen Vernunft*. Hrsg. von Wilhelm Weischedel. Frankfurt a. M.: Suhrkamp Taschenbuch-Wissenschaft.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (seit 1875). *Die philosophischen Schriften von G. W. Leibniz*. Hrsg. von Carl Immanuel Gerhardt. Hildesheim: Weidmann.
- (1903). *Opusculs et fragments inédits*. Hrsg. von Louis Couturat. Paris: Félix Alcan.
- (seit 1923). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Berlin/Boston: Walter de Gruyter.

- Lullus, Raimundus (1721). *Ars compendiosa inveniendi veritatem seu Ars magna et maior* [1273–1275]. In: *Opera I.* Mainz.
- Mittelstraß, Jürgen (2005a). „Das Ganze und seine Teile. Enzyklopädien, das Alphabet des Denkens und die Einheit des Wissens“. In: *Vom Weltbuch bis zum World Wide Web – Enzyklopädische Literaturen*. Hrsg. von Waltraud Wiethölter et al. Heidelberg: Universitätsverlag Winter, S. 53–67.
- (2005b). *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*, 4 Bände. Stuttgart: J. B. Metzler.
- (2011). *Leibniz und Kant. Erkenntnistheoretische Studien*. Berlin/Boston: Walter de Gruyter.
- Mittelstraß, Jürgen und Schröder-Heister, Peter (1986). „Zeichen, Kalkül, Wahrscheinlichkeit. Elemente einer Mathesis universalis bei Leibniz.“ In: *Pragmatik. Handbuch pragmatischen Denkens*. Band 1. Hrsg. von Herbert Stachowiak. Hamburg: Felix Meiner, S. 392–414.
- Oppenheim, Paul und Putnam, Hillary (1958). „Unity of Science as a Working Hypothesis“. In: *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. 2. Hrsg. von H. Feigl et al. Minneapolis: Minnesota University Press, S. 3–36.
- Selg, Annette; Wieland, Rainer (2001). *Die Welt der Encyclopédie*. Frankfurt a. M.: Eichborn.
- Thiel, Christian (2010). „Leibnizische Charakteristik“. In: *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*. Band IV. Hrsg. von Jürgen Mittelstraß. Stuttgart/Weimar: J. B. Metzler.
- Zedler, Johann Heinrich (1734). *Grosses vollständiges Universal-Lexicon aller Wissenschaften und Künste*. Band 8. Halle/Leipzig: J. H. Zedler.

Leibniz und die theoretische, methodische und sprachliche Einheit der Wissenschaften

1 Die Frage nach der Einheit der Wissenschaften

Programmatisch forderte Leibniz von den Wissenschaften der Berliner Akademie die fruchtbare Synthese *theoria cum praxi*, denn Wissenschaften verwalten und mehren das bestgesicherte Wissen, über das wir verfügen. Dabei nutzen wir es, mit Jürgen Mittelstraß gesagt, zur Gestaltung unserer Welt als *Verfügungswissen*; und es dient uns im Leben als *Orientierungswissen* (Mittelstraß 1982: 16). Dennoch stellen sich zwei Fragen – die eine, ob die verschiedenen Disziplinen, die uns solches Wissen vermitteln, überhaupt zusammenpassen; und die zweite, wie aus dem Wissen der Wissenschaften eine fruchtbare Praxis zu folgen vermag. Erleben wir als Weltkind in der Mitten doch oft genug, dass uns die eine Disziplin Hü, die andere Hott anrät!

Erinnern wir uns – schon Kant sah sich genötigt, 1793 gegen den „Gemeinspruch“ zu kämpfen: „Das mag in der Theorie richtig sein, taugt aber nicht für die Praxis“ (AA VIII, 275–278). Leibniz sieht dies ähnlich:

lorsqu'on a le loisir de mediter, je trouve que dans toutes les matieres capables de preceptes et de raisons, [...] la theorie peut prevenir la pratique, quand on sçait mediter avec ordre pour ne laisser rien echapper des circomstances qui doivent estre mises en ligne. Et même la theorie sans pratique passera incomparablement une pratique aveugle et sans theorie. (*Recommandation pour instituer la Science generale*, A VI.4, 711 f.)

[Haben wir aber Muße nachzudenken, so finde ich, dass in allen Dingen, die Regeln und der Vernunft zugänglich sind, [...] die Theorie der Praxis zuvorkommen kann [...]. Und selbst die Theorie ohne Praxis wird einer blinden Praxis ohne Theorie ungleich überlegen sein, wenn der Praktiker gezwungen ist, einer Situation zu begegnen, sehr verschieden von solchen, die er bisher erlebt hat.]

Die Theorie erfasst also mit der Vernunft Regelmäßigkeiten oder Gesetzmäßigkeiten, die in ihrer Allgemeinheit eine breitere Anwendung erlauben als jede fallbezogene Praxis.

Doch wie steht es um die Vereinbarkeit, gar die Einheit der Wissenschaften? Ob es eine Einheit der Wissenschaften gibt, die über ihr gemeinsames Dasein an einer Universität hinausgeht, ist heute eine durchaus brennende Frage. Wenn sie positiv zu beantworten ist, muss eine Universitas litterarum sie alle ungekürzt verkörpern. Wird sie hingegen verneint, so bedeutet dies, dass die Wissenschaftler der verschiedenen Disziplinen sich nichts zu sagen haben, sie bedürfen einander nicht, ja, eine organisatorische Verbindung wäre sinnlos: disziplinspezifische Hochschulen wären die angemessene Organisationsform. Tatsächlich lassen sich solche Entwicklungen beobachten – den Studiengängen wird ja seit der Bologna-Reform sogar bezogen auf jedes einzelne Fach ein „Alleinstellungsmerkmal“ gegenüber allen anderen Universitäten abverlangt, und Organisationsformen wie die der Leibniz-Gemeinschaft oder der Max-Planck-Gesellschaft mit ihren

isolierten Instituten sprechen eine deutliche Sprache. Zugleich aber sind wir darauf angewiesen, die unterschiedlichen Inhalte des Verfügungs- wie des Orientierungswissens lebenspraktisch zu einer Einheit zusammenzuführen. Doch wie mag das gelingen? Die Schwierigkeit betrifft also mehr als die vertraute Entgegensetzung von Geistes-, Sozial-, Natur- und Technikwissenschaften, denn dahinter steht unumgänglich das Problem, wie Theorie und Praxis überhaupt zusammenkommen können.

Leibniz ist oft als Universalwissenschaftler bezeichnet worden – Jurist und Mathematiker, Physiker und Historiker, Geologe und Ingenieur, Theologe und Philosoph: In seinem Denken muss dies eine Einheit gebildet haben. Aber war das mehr als die Einheit eines Menschen, der über vieles nachdenkt?

Die Frage hat mannigfache Facetten, beginnend damit, was unter Wissenschaft zu verstehen ist – heute wie bei Leibniz. Würde sie im englischen Sprachraum gestellt, ginge es wohl nur um *science*; und damit blieben die *humanities* ausgeklammert. Doch gilt das nicht auch schon für Leibniz – ganz abgesehen davon, dass es viele der heutigen Disziplinen einer Universität damals noch gar nicht gab? Tatsächlich unterscheidet er durchaus *scientia* – nämlich Mathematik und die Wissenschaften der *physis* – von den *humaniora*: Erstere suchen nach rationes, also nach Theorien, während schon die *historia naturae* nur beschreibt, was bedeuten könnte, dass die *historia* nie theoriefähig zu sein vermag. Allerdings bezeichnet Leibniz alle gelegentlich als *artes* oder auch als *scientiae*.

Nun könnte man auf jene Disziplinen ausweichen, die damals an den Universitäten vertreten waren, also doch als Wissenschaften in der Einheit der *universitas* angesehen wurden. Die drei oberen Fakultäten waren Jura, Medizin und Theologie – fraglos mit einer hohen Theorieorientierung bei gleichzeitigem beruflichen Praxisbezug. Deren Grundlage bildeten hingegen die seit der Antike geläufigen sieben *Artes liberales*, die freien Künste des *Trivium*, also Grammatik, Dialektik (einschließlich der Logik) und Rhetorik, und des *Quadrivium*, nämlich Arithmetik, Geometrie, Musik und Astronomie. Dem kann man die Vorstellung entnehmen, dass diese *Artes* als Grundausbildung die gemeinsame Basis der drei Hauptwissenschaften sind und so für eine gemeinsame Grundlage, für eine Einheit sorgen; doch bildeten sie als freie Künste den Gegensatz zu den mechanischen Künsten, also zur Praxis. Darüber hinaus traute Leibniz den Universitäten seiner Zeit nicht zu, den neuen Wissenschaften gerecht zu werden – und die im 18. Jahrhundert einsetzende Umstrukturierung der Universitäten war ein Spiegel solcher Kritik.

Das Leibnizsche Konzept einer Einheit der Wissenschaften

Leibniz vertrat mit großem Nachdruck eine tiefgreifende Umstrukturierung allen wissenschaftlichen Wissens zu einer *Scientia generalis*, also zu einer Einheit der Wissenschaften, die sich zum einen in Akademien als theorie- und praxisorientierten Forschungseinrichtungen, zum anderen in Bibliotheken als den Schatzkammern des Wissens spiegeln sollte. Diese neue, übergreifende *Scientia generalis* war mit einer *Ars inveniendi* als Forschungsmethode verbunden, sowie mit einer *Ars iudicandi* als Begründungsmethode – was alles wiederum eine logisch-formalsprachliche Basis verlangte, die *Characteristica universalis*. Es gilt, in einem ersten Teil dieses Leibnizsche

Einheitskonzept zu entfalten, um in einem zweiten die Frage zu stellen, ob und wie weit wir dem heute noch folgen können.

1.1. Die *Scientia generalis* als Strukturmodell der Vielheit der Wissenschaften

Im Jahre 1676 skizziert Leibniz den „Plan einer neuen, nach der entdeckenden Methode abzufassenden Enzyklopädie“, deren „Hauptziel“ darin besteht, eine „zum Entdecken geeignete Ordnung der bedeutsamsten, schon bekannten und dem Leben dienlichen Kenntnisse“ zu entwickeln.¹ Damit ist die Erkenntnismethode von Anbeginn mit der Ausrichtung auf Lebensdienlichkeit verwoben. Bald schon bezeichnete er eine solche Enzyklopädie als *Scientia generalis* (A VI.4, 527). Zu schaffen ist ein Werk, das, ausgehend von Definitionen, Axiomen oder Hypothesen und bewährten Phänomenbeschreibungen, Folgerungen erlaubt.² Es geht Leibniz also um eine systematische Anordnung, wissend darum, dass diese von Wissenschaft zu Wissenschaft anders aussehen wird und dass dabei sowohl Hypothesen wie möglicherweise zu korrigierende Beobachtungsaussagen einfließen.

Das Programm, das es zu verwirklichen gilt, fasst Leibniz 1683 bereits im Titel eines der zahlreichen Entwürfe so zusammen:

Introductio ad Encyclopaediam arcanam; sive Initia et Specimina Scientiae Generalis, de instauratione et augmentis scientiarum, deque perficienda mente, et rerum inventionibus, ad publicam felicitatem. (A VI.4, 527)

[Einleitung in die geheime Enzyklopädie oder Anfangsgründe (Initia) oder Probestücke (Specimina) der *Scientia generalis* von der Erneuerung und Vermehrungen der Wissenschaften, der Vervollkommenheit des Geistes und der Entdeckungen von Dingen zur allgemeinen Glückseligkeit.]

Es geht also um nichts Geringeres als eine wunderbare Einheits-Wissenschaft, bestehend aus *Initia* als Grundlage und darauf aufbauenden *Specimina* als den Einzeldisziplinen, die dazu dienen sollen, die Wissenschaften zu bereichern, den Geist zu vervollkommen und durch ihre neuen Erfindungen oder Entdeckungen das allgemeine Glück zu vergrößern.

Nun ist von Interesse, was als Wissenschaft hier einzubeziehen ist. Leibniz' Antwort gibt schon die Definition: „Die *Scientia generalis* ist nichts anderes als die Wissenschaft vom Denkbaren überhaupt“;³ gemeint sind damit, wie er erläutert, alle Wissenschaften,

die sich entweder auf die Vernunft allein oder auf Vernunft und Erfahrung stützen, alle diejenigen, die nicht von dem Willen eines Machthabers abhängen. [...] Ausgeschieden werden auch gewisse wertlose Artes, die nicht auf feste Grundlagen bezogen werden können.⁴

Damit ist das übergreifende, alle Theorie und Praxis einende Element benannt, die *Vernunft*: Wissenschaft ist Ausdruck menschlicher Vernunft in theoretischer wie praktisch-normativer Hinsicht! Inhaltliche Eingriffe der Machthaber – eine damals wie heute höchst zeitgemäße Forderung – sind unzulässig, auch wenn diese zugleich den Fortgang der Wissenschaften um des Gemeinwohls willen fördern sollen. Jede Einzelwissenschaft hat dabei ihren *point de vue* in einer vernünftigen Ordnung, wie Leibniz dies später von den Monaden sagen sollte.

Im Detail stellt Leibniz diese Ordnung nachfolgend in 18 Disziplinen oder Artes dar, die er eingehend erläutert und die sich in drei Blöcken zusammenfassen lassen (A VI.4.344–349):

Initia	Specimina	
	Mathematik, Naturwissenschaft	Wertorientierte Wissenschaft
1. Grammatica rationalis	7. Arithmetica	14. Scientia moralis
2. Logica	8. Geometria, Optica	[15. Jurisprudentia]
3. Mnemonica (Gedächtnisvermögen)	9. Mechanica	16. Geopolitica
4. Topica als Ars inveniendi	10. Poeographia (Grade sinnlicher kontinuierlicher Qualitäten)	[17. Geographia civilis (Geschichte)]
5. Ars formularia (Unterscheidungsvermögen ähnlich/unähnlich)	11. Homoeographia (Chemie)	18. Theologia naturalis
6. Logistica (Lehre vom Teil und Ganzen)	12. Cosmographia	
	13. Idographia (Wissenschaft vom Lebendigen)	

Im letzten Block wurde bei der Korrektur ‚Jurisprudentia‘, die hier zunächst auch unter 14. stand, gestrichen, vielleicht, um sie als 15. Disziplin aufzuführen, denn diese wird übersprungen. Vielmehr folgt 16. Geopolitica, dazu die Geographia civilis, die als Geschichtswissenschaft vielleicht als 17. Disziplin gedacht war, denn es folgt schließlich 18. Theologia naturalis. – Die Aufzählung schließt mit dem Hinweis, diese Encyclopaedia diene durch den Gebrauch der Wissenschaften der Praxis und damit dem Glück.

Die über fünf Seiten der kommentierten Aufzählung erlauben einen deutlichen Blick auf das dahinter stehende Verständnis des Zusammenhangs der Wissenschaften. So umfasst der erste Block in den ersten sechs Elementen die methodische Grundlage entsprechend dem Trivium und Quadrivium, wenn auch mit neuen Aufgaben und Inhalten gefüllt. Sie bilden die „Initia“ und breiten damit eine methodisch geordnete Sicht aus, die sich als *Weltsicht* bezeichnen lässt – nicht im Sinne einer Weltanschauung, sondern als die einende Basis der nachfolgenden „Specimina“: Mit den Initia wird vorausgesetzt, dass sich alles in der Welt mit Vernunft und Beobachtung vermöge der genannten Mittel methodisch erfassen lässt; zugleich ist ein sinnstiftendes Element damit verbunden, denn die Vernunft vermag den Weg bis zur Theologia naturalis zu weisen – der letzten Disziplin der Specimina. Diese wiederum sind als systematische Nennung und Erläuterung all jener Bereiche zu verstehen, in denen Leibniz eine Grundlegung mit Prinzipien für möglich und geboten hält – zunächst die mathematischen und die naturwissenschaftlichen Wissenschaften, dann im dritten Block die wertorientierten Wissenschaften einschließlich der Geschichte, gipfelnd in der Theologie. So ließe sich die zweite Gruppe als die der Verfügungswissenschaften, die dritte als die der Orientierungswissenschaften sehen.

Nun könnte man monieren, es finde keineswegs alles seinen Platz, was damals als Wissenschaft galt, scheint es doch, als fehlten die sich gerade abzeichnenden Technikwissenschaften, zu denen Leibniz selbst viel beigetragen hat; aber bei genauerem Zusehen zeigt sich: Die „Architektur, die Drechsler- und Webkunst“ wird der Geometrie als Anwendung zugewiesen, während der Mechanik die „Statik und Festigkeit der Gebäude“, die Hydrostatik und das Segeln zugeordnet werden. Deutlich wird allerdings, dass Leibniz die Initia von größerer Wichtigkeit sind, während die Specimina eher als offen formulierte Platzanweisungen erscheinen; das mag man auch an den flüchtigen Korrekturen der Positionen 14 bis 18 ablesen. Die Philosophie, könnte man meinen, fehlt. Doch das sieht Leibniz anders: Dieses alles ist schon Philosophie – von der grundlegenden Weltsicht bis in die Struktur der Wissenschaften!

Jede Einzeldisziplin bleibt durchaus für sich bestehen, sie wird aber in den Aufzählungen jeweils unter einen ordnenden Allgemeinbegriff gestellt – das zeigen die Erläuterungen, die Leibniz jeweils anfügt und in anderen Texten vertieft. Damit wird deutlich: Die Einheit der Wissenschaften sieht Leibniz durch die gemeinsamen methodischen Grundelemente gesichert. Sie strukturieren das Denkbare, das Vernünftige, das den Inhalt der *Scientia generalis* ausmachen soll. Dem steht nicht entgegen, dass es nie zu einer Leibniz'schen Ausarbeitung in allen Disziplinen gekommen ist. Vielmehr war er überzeugt, dass er in den *Initia* das Gerüst für einen Bau skizziert, den zu errichten Institutionen wie die Akademien sich zur Leitschnur wählen sollen: All seine zahlreichen Pläne für Societätsgründungen muss man in diesem Licht sehen.

1.2. *Ars combinatoria*, *Ars inveniendi* und *Ars judicandi* als Einheit der Methode

Schon in den Einleitungssätzen der *Scientia generalis* hatte Leibniz als Hauptanliegen die Ermöglichung neuer Erkenntnis bezeichnet. Methodisch gesehen verbirgt sich dies in der vierten Disziplin der *Initia* – der *Topica* oder *Ars inveniendi*. Der Begriff ‚*Topica*‘ geht zurück auf Aristoteles, und als *Ars inveniendi* auf Cicero. Er bezieht sich dort auf die Rhetorik, genauer: auf das Suchen und Finden von überzeugenden Argumenten. Das ist hier nicht gemeint, denn es geht um die Methodik aller Wissenschaften, die in der *Scientia generalis* vereint sind. Schon als Magister Juris hatte Leibniz hierzu eine kombinatorische Methode in der Tradition von Raimundus Lullus und Athanasius Kircher gesucht und 1666 in seiner *Ars combinatoria* niedergelegt – ein Vorgehen, das bis weit ins 18. Jahrhundert verfolgt wurde, um Neues zu generieren. Kein Geringerer als Mozart bediente sich ihrer: 1787 schrieb er eine auf der Kombination von Takten einer Matrix beruhende „Anleitung soviel Walzer oder Schleifer mit zwei würfeln zu componiren soviel man wil ohne musikalisch zu seyn noch etwas von der Composition zu verstehen.“ (KV3, Anh. 294d). So ähnlich muss man sich auch Leibniz' Vorgehen vorstellen – geht es doch darum, mit Leichtigkeit neue Wahrheiten durch Kombination elementarer Wahrheiten zu entdecken. Doch von der bloßen Kombinatorik verabschiedete er sich rasch, denn dabei kommen zu viele unsinnige und unbrauchbare Kombinationen heraus: Die Kombination der Aussagen „ $2 + 3 = 5$ “ und „Katzen fresse Mäuse“ führt zu keinerlei sinnvollen Einsichten. Es bedurfte also einer differenzierteren Methode, deren Regeln, wie Leibniz sich ausdrückt, für alle Wissenschaften einen Ariadnefaden des Denkens bilden.

Der Weg, den Leibniz nun beschreitet, ist nicht neu – er beruht auf dem Vorgehen von *Analyse* und *Synthese*, ein seit der Antike vertrauter Ansatz; doch er gibt ihm eine neue Wende. So formuliert er im Zuge der Entfaltung der *Ars inveniendi* 1676 zehn Maximen des methodischen Vorgehens (*De la Sagesse*, A VI.3, 670–672), die stark gerafft folgendes besagen:

Zunächst geht es um die *Analyse*:

1. Um eine Sache zu kennen und von allem anderen zu unterscheiden, bedarf es einer Analyse all ihrer Eigenschaften.
2. Diese Analyse ist auch auf die Eigenschaften bis hinunter zu schon vertrauten Begriffen auszudehnen. Dadurch wird das Problem in Teile zerlegt.
3. So ist eine vollkommene Kenntnis der Sachlage erreicht.

Es folgen einige *Erläuterungen*:

4. Damit dieses Ergebnis zuverlässig ist, soll die Analyse wiederholt werden.
5. Das Kennzeichen vollkommener Kenntnis ist, dass alles gegründet ist und Vorhersagen möglich sind. Das zu erreichen ist schwierig; aber es genügt, so weit vorzudringen wie nötig.
6. Die Untersuchung sollte immer beim Einfachsten beginnen.
7. Von dort ist zu Schwierigerem aufzusteigen.
8. Dabei ist nichts auszulassen.

Am Ende steht die *Synthese*:

9. Die Ergebnisse mehrerer Analysen sind in einem Katalog zusammenzufassen.
10. Damit lässt sich die Lösung des Ausgangsproblems in einer Synthese in einer vollkommenen Ordnung angeben.

Das sieht scheinbar ganz traditionell aus – hinter den ersten drei Schritten steht die Vorstellung, dass eine sachgerechte, bis zu gesichertem Wissen vorangetriebene Problemanalyse die Gewähr für eine sachgerechte Lösung bietet; doch die Erläuterungen ziehen im vierten methodischen Schritt die praktische Erfahrung von Irrtumsmöglichkeiten ein. Darüber hinausgehend besagt der fünfte Schritt wie ganz selbstverständlich, dass eine Hypothese an erfolgreichen Prognosen zu prüfen ist: Das aber ist ein Eckstein neuzeitlichen Wissenschaftsverständnisses. Die beiden letzten Schritte der Synthese fügen überdies ein gegenüber der Tradition ganz neues Element hinzu, weil man mit einem solchen methodischen Vorgehen nicht nur *eine* Synthese-Lösung erhält, sondern zahlreiche weitere, sodass man damit neue Wahrheiten zu finden vermag, die unabhängig vom Ausgangsproblem sind.

Zwar ist Leibniz überzeugt, hiermit eine universelle Methode formuliert zu haben, doch eigene direkte und fruchtbare Anwendungen finden wir vor allem in der Mathematik; sein paradigmatisches Exempel ist die Infinitesimalrechnung, die beispielsweise darauf beruht, dass in der Analyse einer Kurve $f(x)$ davon ausgegangen wird, dass sie nicht aus Punkten zusammengesetzt ist, sondern aus Linienelementen ds , die wiederum in der Synthese im Integral $\int f(x)dx$ sinnvoll zusammengefügt werden. Die Problemlösung der Synthese beruht also auf einer innovativen Analyse.

Nun tritt ein weiteres äußerst wichtiges Element hinzu: Wenn wir in der Analyse auf wahre Aussagen zurückgehen und wenn wir in der Synthese allein diese wahren Aussagen sachgerecht verknüpfen, so ist das Ergebnis nicht nur eine Problemlösung, sondern auch eine als wahr nachgewiesene Aussage: Die Topik als *Ars inveniendi* wird so zur *Ars judicandi* – sie sichert das zentrale Anliegen aller Wissenschaft, begründetes Wissen zum Inhalt zu haben. Darin würden die ewigen Wahrheiten als aus Axiomen und Definitionen ableitbar (also insbesondere die Aussagen der Mathematik) ihren Platz finden, um dann eine Wahrscheinlichkeitslehre anzuschließen, die sich auf Hypothesen und Gegebenes – *data* – stützt.⁵ Das Ziel ist es, so weit zu kommen, dass wissenschaftliche Streitfälle durch *calculemus*, lasst uns rechnen, lösbar werden (A VI.4, 450).

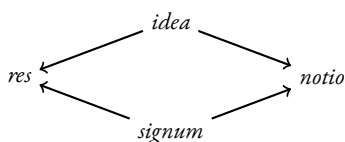
1.3. Die Characteristica universalis als universelle Logik

Calculemus – wie soll das in der Ethik, der Geschichte oder der natürlichen Theologie möglich sein? Dahinter stehen Leibniz' Wahrheitstheorie und Sprachtheorie.

Die *Scientia generalis* verlangt in der Analyse den Rückgang auf wahre Aussagen – doch wann ist eine Aussage wahr? Nun kann hier nicht Leibniz' Wahrheitstheorie entwickelt werden; es muss genügen zu verdeutlichen, wie er dieses Problem im Grundsatz sieht und was daraus für die Frage nach der Einheit der Wissenschaften folgt. Dazu ist es erforderlich, das hinter seinen Überlegungen stehende Ideal zu skizzieren, das besagt, dass – zumindest für das göttliche Denken – die Aussage „A ist B' ist wahr“ bedeutet, dass der Prädikatbegriff B im Subjektbegriff A enthalten ist. Übergehen wir einmal die Schwierigkeiten dieser Wahrheitstheorie; entscheidend ist, dass Leibniz letztlich darauf setzt, dass wir möglichst vollständige Begriffe benötigen. Dabei nimmt er an, dass alle Begriffe Zusammensetzungen von absolut einfachen Begriffen sind,⁶ der *prima possibilia* – gewissermaßen den Elementen des Alphabets des Denkens. Hätten wir nun eine vollständige Liste dieser einfachsten Begriffe, könnten wir sie mit Primzahlen durchnummern; dann wäre ein zusammengesetzter Begriff eineindeutig als Produkt seiner *prima possibilia* darstellbar.⁷ Bedienen wir uns eines einfachen Beispiels: Angenommen, die Begriffe ‚Pferd‘ und ‚schwarz‘ seien absolut einfache Begriffe. Ordnen wir ihnen nun die Primzahlen ‚3‘ für ‚Pferd‘ und ‚7‘ für ‚schwarz‘ zu, so wird durch das Produkt $3 \cdot 7$ – also durch 21 – ein schwarzes Pferd, mithin ein Rappe bezeichnet: Die Aussage „Der Rappe ist schwarz“ wäre also über eine Primfaktorenanalyse als wahr erweisbar, denn 7 ist in 21 als Faktor enthalten. Auf diesem Hintergrund hofft Leibniz, letztlich mit einer *Characteristica universalis* als einer universellen Form der Logik jenes *calculus* der Streitschlichtung zu erreichen.

Doch Leibniz geht noch einen Schritt weiter: Genau in der Zeit, in der er die Pläne einer *Scientia generalis* entwickelte, fand er auch die *Dyadik*. Damit aber lassen sich alle die *prima possibilia* kennzeichnenden Primzahlen geradeso wie deren Produkte als Dualzahlen schreiben: Der ‚vollständige Begriff‘ einer jeden Sache wäre also in einer Dualzahl ausdrückbar. So kann Leibniz später metaphorisch sagen, Gott habe die Welt aus Null und Eins, aus der göttlichen Einheit und dem Nichts, geschaffen. Dies wäre in seiner Sicht die letzte allumfassende Einheit allen Wissens und aller Wissenschaften. Allerdings räumt Leibniz schon zu Beginn ein, dass uns Menschen die absolut einfachen Begriffe wohl nicht erreichbar sind – wir müssen uns auf das Alphabetum cogitationum humanarum beschränken, also auf die für uns einfachen Begriffe (A VI.4.974). Dass heute jeder Computernutzer überzeugt ist, alles Wissen tatsächlich mit 0 und 1 erfassen zu können, zeigt, wie sehr wir alle Leibnizianer sind.

Das oben herangezogene Beispiel der Infinitesimalrechnung zeigt bereits, dass es mit Analyse und Synthese nicht getan ist – vielmehr gilt es, eine unumgängliche, von Leibniz immer wieder betonte Voraussetzung zu beachten: Es bedarf für jeden Problembereich geeigneter Zeichen und zugehöriger Verknüpfungsregeln, also einer Sprache, die wiederum im allgemeinsten Fall eine Logiksprache ist. Dahinter steht die Überzeugung, dass wir Menschen ohne Zeichen nicht zu denken vermögen.⁸ Leibniz legt dabei folgendes Abbildungsverhältnis zugrunde: *Ideae* als die ursprünglichen Elemente der Vernunft erfassen wir in Begriffen (*conceptus* oder *notiones*), die für eine Sache (*res*) stehen; diese beiden – Begriff und Sache – wiederum werden in Zeichen (*characteres* oder *signa*) festgehalten. Wir haben also einen reicheren Zusammenhang zu berücksichtigen als den von Zeichen und Bezeichnetem: Ein Zeichen, etwa ein Wort, bezieht sich immer zugleich auf die Sache und auf den Begriff, mit dem wir sie denkend erfassen – und hinter beidem steht letztlich eine Idee, gebildet aus absolut einfachen Ideen, die für Leibniz der Schöpfung zugrunde liegt: Eben deshalb hat der Kosmos eine logisch-begriffliche Struktur



und ist mit jenen oben entwickelten methodischen Mitteln der Weltsicht in Zeichen erfassbar. Dabei ist der Zeichenbegriff sehr weit gefasst – er umschließt Wörter, Buchstaben, Musiknoten, Hieroglyphen etc. Doch die Abbildung kann noch weiter gehen – wie bei jeder Zahl, die wir als Ziffernfolge schreiben, oder etwa beim Integral: Wir wählen ein angemessenes Symbol als Zeichen, eingebettet in die Regeln des Zeichengebrauchs.

1.4. Die natürlichen Sprachen als Grundlage und Bindeglied

Nun ist das Integralzeichen in der Geometrie überflüssig – es bedarf dort ganz anderer Symbole, wieder anderer in der Chemie oder Medizin: Es zeigt sich also, dass für die einzelnen Wissenschaftsdisziplinen jeweils angemessene und gut handhabbare Zeichensysteme zu entwickeln sind. Dabei denkt Leibniz an fachspezifische Kalküle, doch zugleich verdeutlicht er in seinen Untersuchungen zum Sprachvergleich und zur Sprachentwicklung, dass Kalküle den Nachteil haben, starr und unflexibel zu sein – sie können anders als die natürlichen Sprachen neuen Ideen und Entwicklungen nicht folgen. Es bedarf also angesichts der Dynamik der Wissenschaftsentwicklung einer von der übergreifenden Umgangssprache ausgehenden Neufassung der jeweiligen Kalkülsprache. So erweisen sich die natürlichen Sprachen als Grundlage und Bindeglied, denn was die Zeichen in einem Kalkül bedeuten, was mit diesem Werkzeug gewonnen werden soll, bedarf ja der umgangssprachlichen Erläuterung: Die Einheit der Wissenschaften hat deshalb auch eine solche Umhüllung zur Voraussetzung – im Mittelalter bot dies bis weit ins 18. Jahrhundert das Latein, an den Höfen das Französische, heute bietet es vielfach das Englische als *Lingua franca*. Leibniz formuliert diese Bedingung zwar nicht, aber sie lässt sich gut erschließen. Da für ihn natürliche Sprachen der unmittelbare Ausdruck menschlicher Vernunft sind, macht er die Pflege der deutschen Sprache sogar zur Aufgabe der Akademie; denn wie jede Einzelwissenschaft einen *point de vue* kennzeichnet, gilt dieses auch für die natürlichen Sprachen in ihrer jeweiligen Ausprägung (vgl. Poser 2010). Ihre Besonderheiten sieht Leibniz in Eigenschaften, die zugleich auf die *Initia der Scientia generalis* verweisen: Ihre Zeichen dienen

- als *Merkzeichen*, indem sie mir ermöglichen, mich eines Gedankens oder einer Sache zu erinnern und mit mir selbst „innerlich gleichsam [zu] reden und [zu] rathschlagen“ (*Einige patriotische Gedanken*, A IV.3, 362);
- als *Mittel der Zusammenfassung*, also zur Abkürzung, so dass ein komplexer Zusammenhang unmittelbar zum Gegenstand der Überlegungen werden kann (*Nouveaux Essais* III.1, §2, A VI.6, 275);
- als *Orientierungsmittel*, indem sie eine systematische Ordnung durch die Bildung von Abstrakta als Oberbegriffe ermöglichen;⁹
- als *Mitteilungszeichen*, indem sie einen Gedanken für andere ausdrücken und damit sowohl festhalten wie öffentlich machen.¹⁰

Über den Ausdruck des bloß kognitiven Gehaltes hinaus haben die natürlichen Sprachen jedoch noch eine praktische, nämlich performative Funktion. Zeichen fungieren

- als Befehle oder *Anweisungen für gemeinsame Handlungen*,¹¹ und
- als Mittel, das *Gemüt eines anderen zu bewegen* (beispielsweise mit einem Gedicht),¹² weil eine „wohlausgeübte Muttersprach wie ein rein polirtes glas gleichsam die scharffsichtigkeit des gemüths befördert“ (*Ermahnungen an die Teutsche*, A IV.3, 809).

Anders als bei den Kalkülsprachen, deren Zeichen durchgängig willkürlich (wenn auch nicht grundlos) gewählt sind und deren Repräsentationsfunktion auf einer Strukturanalogie beruht, haben die natürlichen Sprachen in ihrer Flexibilität die Funktion einer Metasprache für die Kalkülsprachen zu übernehmen. Doch mehr noch – auch innerhalb einer Wissenschaftsdisziplin wird man nie ohne die natürlichen Sprachen auskommen. Für die Praxis kommt ihnen darum eine unverzichtbare Vermittlerfunktion zu: Theoria cum praxi kann nur dank der Einbettung der Wissenschaftssprache in die Umgangssprache gelingen. Ohne dass Leibniz dieses sagt, rückt sie damit in den Rahmen der Initia und bildet ein nicht zu unterschätzendes Element der einenden Weltsicht. So ist es kaum verwunderlich, dass Leibniz auch über die Möglichkeiten einer Sprachreinigung und Sprachpflege nachdenkt.

Fachspezifische Kalküle, verbunden mit einer dynamischen disziplinspezifischen Abänderung beim Auftreten neuer Phänomene und Probleme, eingebettet in die Umgangssprache – was wird damit aus dem Gedanken einer Einheit der Wissenschaften? Sie besteht keineswegs in einer Einheitswissenschaft, sondern in der gemeinsamen logischen, begriffstheoretischen und methodischen Grundlage, die darauf abzielt, zu gesicherter Erkenntnis zu gelangen und diese zu mehren. So erweist sich die *Scientia generalis* als erster großangelegter Plan, dies zu erreichen.

2 Kritik der Leibniz-Konzeption

Nun stellt sich die Frage, wie wir, systematisch gesehen, mit dem Leibnizschen Ansatz einer Einheit der Wissenschaften heute umgehen sollen – schließlich ist die Verwirklichung des aus dem Wiener Kreis hervorgegangenen Projekts einer Einheitswissenschaft, fortgesetzt als *International Encyclopedia of Unified Science*, zerschellt an einem der letzten der Bände, nämlich Thomas S. Kuhns *Structure of Scientific Revolutions* (Kuhn 1963/1970). Dabei sah das Vorgehen – das dem Leibnizens in gewisser Hinsicht ähnlich ist – durchaus verlockend aus: Aufgebaut wie eine Zwiebel, sollte der innerste Kern aus Logik, Mathematik, Semantik und Methodenlehre bestehen, gefolgt von Physik, Chemie, den Lebenswissenschaften und weiter den Sozial- und Geisteswissenschaften; Philosophie, gar Metaphysik, sollten durch diesen als unumstößlich wissenschaftlich verstandenen Aufbau überflüssig werden. Kuhns Einwand bestand nun im Hinweis auf die geschichtliche Entwicklung der Wissenschaften, die nicht nur durch neue Wege, sondern durch unüberbrückbare Rupturen gekennzeichnet sei, sodass die Suche nach einer ehernen Wissenschaftseinheit eine Chimäre sein muss: Wissenschaft ist immer die Wissenschaft einer Zeit und immer von disziplinspezifischen Paradigmata abhängig. Trifft diese Kritik nicht auch Leibniz?

Sicher war Leibniz überzeugt, dass sich die Wissenschaften in der Geschichte als Fortschritts-geschichte entfalten; ebenso war ihm der Wandel metaphysischer Hintergründe vertraut – auch verlangte er einerseits wie der Wiener Kreis, die Metaphysik nicht in die Wissenschaftsaussagen einfließen zu lassen, um jedoch andererseits zu betonen, dass eine wirkliche Begründung der Wissenschaften in die Metaphysik führt. Aus seiner Sicht wäre deshalb das Einheitswissenschafts-programm des Wiener Kreises wegen seiner empiristischen Begründung zu eng gewesen. Kuhns Kritik betraf gerade diese Enge, die alles ausblenden musste, was zu einem Paradigmenwechsel geführt hat. Doch auch Kuhn bleibt in seiner Sicht zu eng, weil er nicht zugeben kann, dass die von ihm als Paradigmenwechsel bezeichneten und mit religiösen Bekehrungserlebnissen verglichenen historischen Prozesse keineswegs irrational waren, sondern stets auf Argumenten beruhten, die allerdings Gründe heranzogen, welche nicht dem etablierten einzelwissenschaftlichen Methodenkanon entsprangen. Hier aber ist eine Differenzierung vonnöten. Sie besteht darin, innerhalb eines jeden Paradigmas vier Formen methodologischer Festsetzungen zu unterscheiden, die vom *Typ* her allen Wissenschaften gemeinsam sind, während die inhaltliche Ausprägung zeit- und disziplinspezifisch ist. Dann aber lassen sich die Gründe für einen Paradigmenwechsel als Kritik an solchen Inhalten und deren Revision einordnen. Dieses sind die ontologischen Festsetzungen, die Festlegung der Erkenntnisquellen, die judikalen Festsetzungen und die normativen Festsetzungen. Diese methodologischen Festsetzungen machen den Inbegriff wissenschaftlicher Vernunft aus (vgl. Poser 2013: 195–216).

In solchem Licht ist es erlaubt zu fragen, was von Leibniz heute für ein Verständnis des Zusammenhalts der Wissenschaften zu gewinnen ist.

3 Das Modell einer gemeinsamen strukturellen Grundlage der Wissenschaften

Leibniz' Überzeugung von der Einheit der Wissenschaften als Ausdruck der theoretischen wie der normativ-praktischen Vernunft verlangt bei aller Verschiedenheit der Einzeldisziplinen in ihren Inhalten und Vorgehensweisen, ihren Zielen und ihrem geschichtlichen Wandel, eine dahinter liegende, fundierende Einheit aufzusuchen, die den jeweiligen *point de vue* doch wieder als Element dieser Einheit zu erfassen erlaubt, so, wie die Einzelperspektiven einer Monade nicht nur das Monaden-Individuum konstituieren, sondern dieses zugleich ausweisen als Teil der vernunftgegründeten Welt. Eine entsprechende übergreifende Sicht ermöglicht es heute, die Leibnizsche *Scientia generalis* aufzunehmen und zu einer differenzierteren Sicht zu erweitern als beim Allgemeinplatz stehen zu bleiben, eine Wissenschaft sei durch ihren Gegenstand und ihre Methode zu charakterisieren.

3.1 Die Gegenstände einer *Scientia generalis* als disziplinspezifische Ontologie

Gehen wir aus von den Einzeldisziplinen, den *Specimina* der Leibnizschen Liste der *Scientia generalis*. Sie unterscheiden sich von einander zunächst in ihrem Gegenstand, also der bereichs-spezifischen *Ontologie*. Diese umfasst die jeweiligen elementaren Objekte und die elementaren Relationen zwischen ihnen: Fraglos sind die Objekte der Physik andere als die der Chemie, ja, man muss sogar noch weiter gehen, denn klassische Mechanik und Quantentheorie haben durchaus

unterschiedliche Gegenstände. Doch was bleibt dann von einer Einheitswissenschaft übrig? Tatsächlich gibt es Überbrückungsbemühungen; so sucht etwa Barry Smith nach einer gemeinsamen Terminologie für alle medizinischen Wissenschaften, damit beispielsweise der Psychologe, der Neurologe und der Anatom eine gemeinsame Sprache sprechen können. Ähnliches geschieht unter dem Druck der Forderung nach Technikfolgenabschätzungen in technischen Bereichen, um über eine gemeinsame Computerdarstellung und -bearbeitung zu verfügen. Aber das ist hier nicht der entscheidende Punkt – vielmehr gilt es mit Leibniz anzuerkennen, dass unterschiedliche Disziplinen unterschiedliche ontologische Abgrenzungen vornehmen, die sich überdies im Zuge der Wissenschaftsentwicklung ändern. Doch allen Wissenschaften ist gemeinsam, dass sie auf jeweils klar umrissene *ontologische Festsetzungen* bauen. In diesem Erfordernis besteht das erste Element der Einheit.

3.2. Die *Ars inveniendi* und die Erkenntnisquellen einer Disziplin

Wichtiger Anteil der *Initia der Scientia generalis* war die *Ars inveniendi*. Darin kommt das Anliegen aller Wissenschaften zum Ausdruck, nach gesicherter Erkenntnis zu suchen. Die Methoden variieren von Disziplin zu Disziplin – doch in jedem Falle verweist Leibniz' *Ars inveniendi* darauf, wie auf schon gewonnene Erkenntnisse aufbauend weiterzugehen ist: Darum wird mit dem Ausgangspunkt der Analyse zugleich disziplinspezifisch festgesetzt, welches *die heranzuziehenden Erkenntnisquellen* sind, verbunden mit einer *Hierarchisierung*. In der Logik etwa haben im Gegensatz zur Experimentalphysik empirische Beobachtungen keinen Platz, in der theoretischen Physik hat Theorie den Vorrang vor Experimenten etc. Überdies differieren diese Erkenntnisquellen wiederum durchaus von Teildisziplin zu Teildisziplin. So können diese Quellen sehr spezielle Beobachtungen, apparativ gebundene Experimente oder technische Tests, ebenso bestimmtes Aktenmaterial oder Kunstwerke sein. Kurz, die Einheit aller Wissenschaften beruht in ihrem zweiten Element darauf, dass in jeder Disziplin methodisch festgelegt wird, welches die *Erkenntnisquellen* sind und wie diese gegeneinander abzuwägen sind.

3.3. Die *Ars judicandi* und die judikalen Festsetzungen einer Disziplin als der Anspruch auf prüfbare Begründetheit

Das dritte einende Element besteht in den *judikalen Festsetzungen*, also in einer Festlegung im Sinne der *Ars judicandi*, was eine logische Folgerung, was ein mathematischer Beweis, was eine Wahrscheinlichkeitsbegründung oder eine Rechtfertigung ist und worin eine Widerlegung besteht. Naturgemäß stellt sich dies in den Geschichtswissenschaften anders dar als in den Technik-, Natur- oder Sozialwissenschaften – aber ohne solche expliziten Festlegungen, die eine Überprüfung sichern, würde es sich nicht um eine wissenschaftliche Disziplin handeln.

3.4. Die *Characteristica universalis* als argumentationsstrukturierender Hintergrund

Auf ein viertes übergreifendes Element verweist die *Characteristica universalis*: Sie verdeutlicht zum einen, dass Begründungen, um als stichhaltige Argumente anerkannt zu werden, einer argumentativen, im Idealfall logischen Struktur bedürfen; zugleich verdeutlicht aber die Notwendigkeit von disziplinspezifischen Bereichs-Charakteristiken das Erfordernis je eigener Sprach-

und Zeichenformen, die gemäß dem Leibnizschen Monitum überdies der Anpassung an neue Fragestellungen fähig sein müssen. Hierin bestehen die *normativen Festsetzungen* einer jeden Disziplin. Doch sie enthalten noch mehr – zu ihnen zählen, um es mit Leibniz zu sagen, die in einer Disziplin zugrunde gelegten Axiome und Hypothesen geradeso wie die als überaus bewährt eingestuft fundamentalen Beobachtungen.

Die Einheit der Wissenschaften zeigt sich so bei Leibniz wie in der Gegenwart als eine strukturelle Einheit von Festsetzungen, die gewährleisten, dass Wissenschaften die Wahrer und Mehrer der bestgesicherten Erkenntnis und damit Ausdruck der Vernunft sind. Genau hierin zeigt sich die verbindende Weltsicht, auf die immer dann Bezug genommen wird, wenn etwa ein disziplinäres Paradigma kritisiert wird: Solche Kritik richtet sich nie gegen eine ganze Disziplin, sondern in ihr gegen einzelne Elemente der methodologischen Festsetzungen unter Berufung auf Vorstellungen, wie das Neue im Rahmen der globalen Anerkennung des Methodenrahmens als Weiterung vernunftgegründet eingebunden werden kann. Die Einheit ist also keineswegs statisch, sondern selbst dynamisch.

Doch ist damit die Schwierigkeit nicht nur verschoben, die hinter der Frage nach der Einheit der Wissenschaften steht? Erweist sich die Vernunft nach aller Vernunftkritik von Kant bis heute nicht als bloße Vielfalt der Meinungen? Ist denn gesicherte Erkenntnis überhaupt zu gewinnen? Natürlich tritt die Vernunft in unterschiedlicher Weise in Erscheinung – aber alle Vernunftkritik *argumentiert* – und damit hat sie die Vernunft schon anerkannt und vorausgesetzt. Was hingegen die gesicherte Erkenntnis anlangt, so zeigten die methodologischen Festsetzungen den stets bedingten und hypothetischen Charakter jeder wissenschaftlichen Aussage. Damit ist nicht der Unvernunft das Wort geredet, auch keinem Feyerabendischen „Anything goes“, sondern einer Leibnizschen Einsicht Rechnung getragen, dass wir immer etwas voraussetzen müssen, seien es Axiome, Definitionen, Hypothesen oder bewährte Phänomenbeschreibungen. Gerade hierauf gründet sich die Einheit menschlicher Einsicht und Vernunft.

4 *Verfügungs- und Orientierungswissen als bleibende Richtschnur*

An dieser Stelle zu enden würde weder Leibniz noch dem heutigen Verständnis von Wissenschaft gerecht. Einleitend wurde auf Verfügungs- und Orientierungswissen verwiesen, das die Wissenschaften vermitteln. Leibniz geht noch weiter, denn die Wissenschaften dienen ganz im Geiste der beginnenden Aufklärung zur Vervollkommenung des Menschen nicht nur in seinen Lebensumständen – das wäre die Leistung des Verfügungswissens –, sondern über ein Orientierungswissen hinausgehend „ad publicam felicitatem“ (im Titel der großen Schrift zur *Scientia generalis* A VI.4, 527; ähnlich A VI.4, 971), was letztlich, so Leibniz, zur Weisheit führt und in der Einsicht in die Gottgeschaffenheit des Kosmos kulminiert. Daraus resultiert für ihn eine moralische Verpflichtung zur Vervollkommenung (vgl. A VI.4, 975), denn ganz sokratisch gedacht ist Leibniz überzeugt, dass ein besseres Wissen über die Folgen unseres Handelns zur Einsicht führt, Böses zu unterlassen. So geht es in der Einheit der Wissenschaften um die Einheit des Vernünftigen als Einheit der Vernünftigen – im Theoretischen wie im Normativen. Jede Einzelwissenschaft ist dabei ein *point de vue* der Vernunft im Blick auf das Ganze des Vernünftigen, und das heißt: auf das die Welt verbessernde moralische Handeln des Einzelnen.

Heute wird man dieser metaphysischen Weiterung so nicht mehr folgen, doch was bleibt, ist eine Erweiterung des gerade gezeichneten Bildes der methodologischen Festsetzungen – dies ist möglich, weil auch diese Festsetzungen argumentativ begründeten Änderungen unterworfen sind; jeder Kuhn'sche Paradigmenwechsel belegt das. Dieses erweiterte Bild erlaubt es, kritischen Einwänden ebenso einen Platz zu geben wie den Formen des Verfügungs- und Orientierungswissens: Sie beruhen auf der Weltsicht einer Zeit, weil die Vernunft selbst in mannigfacher Gestalt ihre Ausprägung findet. Wir werden deshalb heute vorsichtiger argumentieren müssen, doch geprägt von der Tradition, deren Vernunftbegriff die Wissenschaften in ihrer Verschiedenheit stets am Ideal begründeter Erkenntnis ausgerichtet hat. Dabei verbindet sich der aufklärerische Impetus mit der Einsicht, dass Verfügungs- und Orientierungswissen nicht isoliert voneinander stehen, sondern vielfach zusammenkommen: So greift alle Technikwissenschaft und mit ihr jede Technikentwicklung als Beispiel einer paradigmatischen Synthese von Theorie und Praxis nicht nur Verfügungswissen auf, sondern basiert in ihrer Zielrichtung auf einer wertenden Orientierung, die zugleich voraussetzt, dass es uns gelingt, die eingehenden Wissens- und Wissenschaftsformen aufeinander zu beziehen. Damit wird es zur moralischen Verpflichtung, über die Einheit der methodologischen Festsetzungen hinaus auch eine inhaltliche Einheit in der Verpflichtung gegenüber unserer Lebenswelt zu verwirklichen. Diese letzte Einheit bedeutet eine Sinnzuweisung, die unverzichtbar ist, aber ihrerseits nicht aus den Specimina abgeleitet werden kann: Sie ist metaphysischer Natur, wenn man darunter eine Aussage versteht, die weder aus formalen noch aus empirischen Gründen wahr ist, sondern ein sinnstiftendes Ordnungs- und Orientierungsangebot bezeichnet. Dessen Umsetzung in unsere Handlungspraxis als Ausdruck der Synthese von theoretischer und praktischer Vernunft ist nichts, was sich von allein ergibt, sondern es wird uns zur Aufgabe. Dann aber mag als Verpflichtung gelten, was Leibniz 1686 in seinen *Elementa rationis* schrieb:

Wenn jemals etwas von Menschen verheißen oder hervorgebracht worden ist, von dem man hoffen kann, dass es unsere Kräfte zu vermehren und einen Weg zur Vollendung der Vernunft zu öffnen vermag, so diese neue Methode des vernünftigen Denkens. Nicht nur für die Wissenschaften, sondern auch für alle anderen menschlichen Angelegenheiten, die von der Vernunft abhängen, erlaubt sie, Wandlungen zum Besseren zu erhoffen.¹³

Anmerkungen

1. *Summa Consilii* est Notitiarum humanarum potissimarum dudum cognitarum vitae utilium ordinatio *ad inveniendum* apta. (*Consilium de Encyclopaedia nova conscribenda methodo inventoria*, A VI.4, 340).
2. *Principia* sunt vel Definitiones, vel Axiomata vel Hypotheses, vel Phaenomena. A VI.4, 341.
3. *Scientia Generalis* nihil aliud est quam *Scientia de Cogitabili in universum*, A VI.4, 327.
4. *Scientiae in hanc Encyclopaediam referendae* sunt omnes, quaecunque nituntur vel *Ratione sola* vel *ratione et experientia*, nempe quaecunque non pendent a voluntate cuiusdam auctoritatem habentis. [...] *excluduntur autem nugatrices quaedam artes, quae non possunt revocari ad firma quaedam fundamenta.* (*Consilium de Encyclopaedia nova conscribenda methodo inventoria*, A VI.4, 343).
5. Prior pars continet *Artem judicandi*, absolviturque tum *Elementis aeternae veritatis*, hactenus inexplicatis, ubi de *criteriis sive notis veritatis plane indisputabilibus*. Deque *veritatibus primis et definitionibus*, ex quibus fit *demonstratio*, tum vero *doctrina probabilitatis*, de *gradibus ejus aestimandis*, quod ipsum ex *datis demonstrative fieri potest*. Gestrichene Passage der *Initia et Specimina Scientiae Generalis*, A VI.4.353. [Der erste Teil umfasst die *Ars judicandi* (Beweiskunst), dann werden die bislang nicht erfassten Grundlagen der ewigen Wahrheiten

festgestellt, darunter die gänzlich unbestrittenen Urteile oder Feststellungen. Weiter die ersten Wahrheiten und die Definitionen, auf denen ein Beweis ruht, dann die Wahrscheinlichkeitslehre von den Graden der Abschätzung dessen, was selbst aus Daten und Gründen gewonnen werden kann.]

6. In der Schrift *Introductio ad Encyclopaediam arcanam; sive Initia et Specimina Scientiae Generalis* ist ein solcher Begriff ein conceptus primitivus; doch ob sie Menschen erreichbar sind, sei zweifelhaft. A VI.4.528.
7. *Terminus primitivus (derivativus)* est cui nullus (aliquis) compositus aequivalet, ut si ponamus ipsi *a* aequivalere *bc*, ipsique *b* aequivalere *de*, ipsi autem *c* nullum aequivalere compositum erit *a* terminus [derivativus], itemque *b*, sed *c* erit [primitivus]. Hoc illustrari potest exemplo numerorum primitivorum. Sit *a* tricenarius et *b* quindenarius et *c* binarius, et *d* ternarius, et *e* quinquarius patet *a* idem esse quod *bc*, seu tricenario aequivalere quindenarium binarium; et *b* idem esse quod *de*, seu quindenario aequivalere ternarium quinquarium. Patet ipsi binario (generaliter et absolute sumto) nullos alios junctos aequivalere, quemadmodum nec ternario nec quinquario. Adeoque binarium, ternarium, quinquarium, esse primitivos. (*Specimen Calculi universalis*, A VI.4.286.) (Ein ursprünglicher (bzw. abgeleiteter) Ausdruck ist derjenige, dem kein (bzw. irgendein) zusammengesetzter Ausdruck äquivalent ist; wie wenn wir etwa setzen, dem *a* sei *bc* äquivalent, dem *b* sei *de* äquivalent, dem *c* aber sei kein zusammengesetzter Ausdruck äquivalent, so wird *a* und ebenso *b* je ein Ausdruck, *c* jedoch wird ein einfacher Ausdruck sein. Dies kann durch das Beispiel der Primzahlen erläutert werden. Ist *a* die 30, *b* die 15, *c* die 2, *d* die 3 und *e* die 5, so ist *a* offensichtlich dasselbe wie *b · c*, oder der 30 ist äquivalent $15 \cdot 2$; und *b* ist dasselbe wie *d · e* oder der 15 äquivalent ist $3 \cdot 5$. Offenbar sind der 2 (allgemein und absolut verstanden) keine anderen bekanntgewordenen Zahlen äquivalent, wie auch nicht der 3 und der 5. Und so sind auch die 2, die 3 und die 5 Primzahlen.)
8. Omnis humana ratiocinatio signis quibusdam sive characteribus perficitur. A VI.4. 918.
9. In seinem Brief an Tschirnhaus vom Mai 1678 (A III.2, 450) unterscheidet Leibniz Funktionen der Characteristica, die auch hier einschlägig sind: „Eius enim ope omnes cogitationes nostrae velut pingi et figi, et contrahi atque ordinari possunt, *pingi* aliis ut doceantur, *figi* nobis ne obliviscamur; *contrahi* ut paucis, *ordinari* ut omnia in conspectu, meditantibus, habeantur.“ (Durch sie können nämlich all unsere Gedanken gleichsam gemalt und dargestellt, zusammengezogen und geordnet werden, *gemalt* für andere zur Mitteilung, *dargestellt*, damit wir sie nicht vergessen, *zusammengezogen* zur Kurzfassung, *geordnet*, damit wir beim Überlegen alles im Auge haben.)
10. „Nomina sunt notae mihi ipsi ad reminiscendum, signa erga alios ad docendum.“ Nizolius-Vorr., A VI.2, 447. (Namen sind Merkmale mich zu erinnern, Zeichen dagegen um andere zu unterrichten.)
11. „Radices verborum in Imperativo magna ratione quaeruntur“. Fellner, S. 427. (Die Wurzeln der Wörter sind mit gutem Grund im Befehl zu suchen.)
12. „Unde verba in carmina, in cantiones redacta, quia et picturas excitant et sonos exhibent, incredibilem habent vim movendi“. Fellner, S. 170. (Weil die Wörter in Gedichten und Liedern sowohl Bilder wecken als auch Klänge darbieten, haben sie eine unglaubliche Kraft jemanden zu bewegen.)
13. Gekürzt und frei formuliert in Anlehnung an Übersetzung und Einfügung aus Engelhardt: 183 bzw. 464. – Si quid unquam sine justa reprehensione vanitatis ab hominibus promissum, productumve est, quo spes sit augeri vires nostras, viamque perficiendae rationis aperiri posse; id certe cuius Divino beneficio nunc initia damus, tale asserere ausim; unde nisi fata obstant magnae non scientiarum tantum, sed et aliarum rerum humanarum a ratione pendentium mutationes in melius, portenduntur. A VI.4, 714.

Literatur

- Kant, Immanuel. *Gesammelte Schriften* (=AA). Hrsg. v. d. Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften. Berlin: Reimer 1900 ff., ab 1922 de Gruyter.
- Kuhn, Thomas S. (1963/1970). *Structure of Scientific Revolutions* (International Encyclopedia of Unified Science, Foundations of the Unity of Sciences Vol. II, N. 2). Chicago: Chicago University Press 1963, 2nd enlarged ed. 1970. Dt. *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp 1967, rev. 2. Aufl. 1976.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm. *Sämtliche Schriften und Briefe* (= A). Reihe I–VIII. Hrsg. v. d. Preussischen (später: Deutschen, jetzt Berlin-Brandenburgischen) Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Darmstadt: Reichel 1923 f., dann Leipzig, dann Berlin: Akademie Verlag, de Gruyter.
- *Otium Hannoveranum* (= Fellner). Hrsg. v. Joachim Friedrich Fellner. Leipzig: Martin 1718.
- *Schöpferische Vernunft* (= Engelhardt). Übers. u. erl. v. Wolf v. Engelhardt, 2. Aufl. Münster: Böhlau 1955.
- Mittelstraß, Jürgen (1982). *Wissenschaft als Lebensform*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp 1982.

- Poser, Hans (2010). „Die Vielheit der Sprachen und die Einheit der Vernunft“. In: *Leibniz und die Entstehung der Modernität* (Studia Leibnitiana Sonderheft 37). Hrsg. v. Juan Antonio Nicolás. Stuttgart: Steiner, S. 147–165.
- (2013). *Wissenschaftstheorie*. 2. Aufl. Stuttgart: Reclam.

Carl Friedrich Gethmann

Theoria cum praxi – die exoterischen Aufgaben der wissenschaftlichen Akademien

„Theoria cum praxi“ steht als Motto über den Veranstaltungen der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften zur Erinnerung an Leibniz’ Tod vor 300 Jahren. Es ist das Motto, durch das Leibniz die Aufgabenstellung der im Jahre 1700 gegründeten wissenschaftlichen Sozietät zusammengefasst hat und das deshalb seit über dreihundert Jahren bei festlichen Anlässen der aus der Sozietät hervorgegangenen Akademie zitiert wird. Allerdings steht die Prominenz der Wendung in einem merkwürdigen Kontrast zu der Verlegenheit, die sich einstellt, wenn man nach ihrer genauen Bedeutung fragt.¹ Klärt man die Bedeutung dann auf, so steht die Verehrung, die man Leibniz für das hinter dem Motto vermutete Konzept zuteilwerden lässt, nicht selten in auffälliger Diskrepanz zu der Bereitschaft, diesem Konzept auch Geltung zuzusprechen und entsprechend Gefolgschaft zu leisten. Die Verlegenheit lässt sich recht leicht daraus erklären, dass Leibniz’ Vorstellung des Praxisbezuges wissenschaftlicher Arbeit deutlich von dem abweicht, was man als Standardverständnis jedenfalls der deutschen Wissenschaftstradition bezüglich des Verhältnisses von Theorie und Praxis ansprechen kann. Das wird sofort deutlich, wenn man sich den Kontext, in dem Leibniz diese Losung formuliert hat, etwas genauer ansieht. In Leibniz’ *Denkschrift in Bezug auf die Einrichtung einer Societas Scientiarum et Artium in Berlin* vom 24. März 1700 heißt es:

Wäre demnach der Zweck Theoriam cum praxi zu vereinigen, und nicht allein die Künste und die Wissenschaften, sondern auch Land und Leute, Feld-Bau, Manufacturen und Commerciën, und mit einem Wort die Nahrungs-Mittel zu verbessern, über dieß auch solche Entdeckungen zu thun, dadurch die überschwengliche Ehre Gottes mehr ausgebreitet, und dessen Wunder besser als bißher, erkannt, mithin die christliche Religion auch gute Policy Ordnung und Sitten theils bey Heydnischen, theils noch rohen, auch wohl gar Barbarischen Völkern, gepflanzt oder mehr ausgebreitet würden. (Leibniz, IV, 8: 426)

Das Zitat zeigt, dass das „cum“ zwischen „theoria“ und „praxi“ keineswegs im Sinne einer bloß additiven oder sukzessiven Verbindung zu verstehen ist – die in der Tat niemanden beunruhigen würde, es wäre die vielzitierte „Anwendung“ der Theorie auf die Praxis –, sondern dass das „cum“ eine konditionale Konnotation hat, etwa im Sinne von „indem“ oder „dadurch, dass“. Die lateinische Grammatik spricht hier vom „cum explicativum“, wie es beispielsweise in Wendungen wie „eis videmus optabilem mortem fuisse cum gloria“ (ihnen schien der Tod wünschenswert, doch nur in Verbindung mit Ruhm) verwendet wird. Entsprechend ist „theoria cum praxi“ zu lesen im Sinne von: Die Sozietät strebt nach Wissen, indem (dadurch, dass; doch nur unter der Bedingung, dass) sich dieses auf Handeln bezieht. Man beachte ferner, dass gemäß Leibniz die Verbindung von theoria cum praxi „Zwecken“ dient, wissenschaftliches Wissen somit ein Mittel für Zwecke ist. Diese Aussage ist sicher

explikationsbedürftig, aber wie immer die Explikation im Detail erfolgt, Leibniz propagiert für die Sozietät umstandslos einen klaren „Instrumentalismus“ des Wissens. Er unterwirft die Artes und Scientiae, vor allem auch die Disziplinen der Artistenfakultät (und nicht etwa nur die der höheren Fakultäten, die als Ausbildungsstätten für Geistliche, Staatsbeamte und Ärzte sowieso trans-disziplinären Zwecken unterworfen waren und sind) – also unterschiedslos die Disziplinen, die heute der Philosophie, den Natur- und Geisteswissenschaften zugeordnet werden – Zwecken.² Beispiele für solche Zwecke sind technischer und agrikultureller Art (Nahrungsmittel), aber auch solche des Glaubens, der Sitte und des Rechts. Von zweckfreier Grundlagenforschung ist nicht die Rede – sie gilt jedenfalls nicht für die Sozietät.

Es ist hier nicht der Ort, die hermeneutisch-philologischen Hintergründe und Zusammenhänge von Philosophie und Wissenschaft aus Leibniz' Sicht darzustellen.³ Aber es sei wenigstens darauf hingewiesen, dass das von Leibniz im oben angeführten Zitat skizzierte Projekt von Wissenschaft keineswegs neu ist; es hätte schon über dem Eingang der platonischen Akademie stehen können, und ist schon 100 Jahre vor Leibniz von Francis Bacon (†1616 !) mit seiner Wendung vom „Wissen als Macht“ dem spezifisch neuzeitlichen Verständnis von Wissenschaft als Signet aufgeprägt worden. Ferner ist dieses Verständnis nicht für die Leibniz-Sozietät spezifisch. Es hätte auch als Motto über der 1652 gegründeten Leopoldina, der 1662 gegründeten Royal Society oder der 1666 gegründeten Académie des Sciences stehen können, und man findet in den Gründungsdokumenten dieser Institutionen ganz ähnliche Programmvorgaben. Schließlich ist das Konzept grundsätzlich nicht akademie-spezifisch; es hätte sicher Leibniz' Absicht entsprochen, das Motto auch über Universitäten und überhaupt alle Stätten forschenden Lernens zu schreiben. Es handelt sich nämlich um eine verbale Hoch-Verdichtung der wissenschaftsphilosophischen Konzeption, die von Galilei, Leonardo, Newton, Descartes, Bacon und den anderen Gründern der neuzeitlichen Wissenschaft verfochten und von diesen als grundsätzliche wissenschaftsphilosophische Innovation gegenüber der antiken und mittelalterlichen Vorgeschichte verstanden wurde, gleichwohl eigentlich nur schon die von Platon und Aristoteles ausgelegten Gleise – mit besonderen Weichenstellungen – weiter befuhr.

1 Erkennen als zweckbezogenes Handeln⁴

Die grundlegende Differenz zwischen dem antik-mittelalterlichen und dem neuzeitlichen Verständnis von Wissenschaft, die zugleich eine Differenz in der Kontinuität ist, lässt sich schon an dem Vorläufer der Leibniz'schen Lösung, dem Bacon-Prinzip, dokumentieren (vgl. Schäfer 1993). Bacons Schrift *Novum Organon* richtet sich gegen das alte Organon des Aristoteles, das die Wissenschaftsphilosophie von Antike und Mittelalter weithin bestimmte. Die wissenschaftsphilosophische Pointe der Wendung vom „Wissen als Macht“ wie auch der Lösung „theoria cum praxi“ wird ersichtlich, wenn man sich die zwei Unterscheidungen vergegenwärtigt, die implizit durch das Bacon-Prinzip wie auch die Leibniz-Lösung mitgesetzt sind, nämlich (a) die den Wandel der Erkenntnisstile betreffende Unterscheidung von Kontemplation und Intervention und (b) die Unterscheidung der poetischen von der praktischen Wissensform.⁵

1.1. Transformation der Erkenntnisstile

Wissen als begründetes Erkennen kann sich nach antiker und mittelalterlicher Auffassung nur aus einer kontemplativen Einstellung des Erkennenden gegenüber der Natur ergeben („kontemplationistischer“ Erkenntnisbegriff). Die klassische Begründung dafür hat Platon gegeben: Da es das Wissen mit dem Allgemeinen und Unveränderlichen zu tun hat, die unmittelbar gegebene Natur jedoch zufällig und veränderlich ist, kann sich das Wissen nicht aus alltäglicher Erfahrung begründen. Vielmehr bedarf es eines kontemplativen Sich-Versenkens in die erfahrungs-transzendenten Prinzipien des alltäglich Gegebenen. Demgegenüber verdankt sich *neuzeitliche* Wissenschaft (deren Wurzeln insofern allerdings weit in das späte Mittelalter zurückreichen) der Überzeugung, dass nur durch *Interventionen* in Naturabläufe kausale oder konditionale Beziehungen erkennbar werden („interventionistischer“ Erkenntnisbegriff). Das Paradigma dieser Transformation des Erkenntnisstils ist das Experiment, das ja – entgegen einem verbreiteten *On dit* über die *Natur*-Wissenschaften – nicht in der Natur, sondern an einem Ort menschlicher Arbeit, dem Labor, stattfindet. Zwischen einem kontemplativ erworbenen Wissen und der „Macht“ (potestas, besser „Verfügungsgewalt“) über die Natur ergibt sich kein Konnex. Somit sehen wir bis ins späte Mittelalter auch keine systematische Verbindung zwischen theoretischer Naturbeobachtung und poetischer Naturbeherrschung („Technik“). Erst ein durch Intervention in Naturabläufe gebildetes Wissen ermöglicht die Allianz von Wissen und Ingenieurskunst, die ein Kennzeichen der Neuzeit ist. Der von Jürgen Mittelstraß zum Prototypen dieser Sicht stilisierte Leonardo da Vinci vereinigt diese Allianz in seiner Person (Mittelstraß 1992).

Verfügungsgewalt (Macht) tritt nun im Verhältnis zum Wissen an zwei Orten auf. Einmal als *Folge des Wissens*: Wer der Natur durch geschicktes Isolieren von Kausalfaktoren auf die Schliche kommt, kann diese Abläufe im Prinzip auch verändern. Zum anderen erreicht der Mensch Verfügungsgewalt (potestas) über die Natur per Intervention in sie nur dadurch, dass er bereits über ein poetisches know how verfügt. Die Verfügungsgewalt ist nicht nur eine Folge, sondern eine *Bedingung des Wissens*.

Dieser letzte Aspekt wird oft übersehen, was zu einer Reihe von Missdeutungen geführt hat. Beispielsweise betrifft das die Interpretation des Verhältnisses von Ingenieurskunst und Wissenschaft. Die wissenschaftlich fundierte Ingenieurskunst ist auf der einen Seite eine Folge des Wissens, d. h., in dem Sinne ist die Ingenieurskunst „angewandte“ Wissenschaft. Die Ingenieurskunst geht aber auch dem Wissen voraus. Ohne ein lebensweltlich verfügbares poetisches know how, das wenigstens eine elementare Körperbearbeitung und Fertigkeit im Umgang mit einfachen Geräten erlaubt – man denke an einfache Körpertransport- und -messgeräte wie sie beispielsweise in den mittelalterlichen Dombauhütten entwickelt wurden. Ohne dieses know-how gäbe es keine Labore, keine Experimente und keine Interventionen. In diesem Sinne ist neuzeitliche Wissenschaft „angewandte“ Ingenieurskunst. Dies erklärt übrigens die Hochschätzung der „Erfinder“ bei Leonardo, Bacon, Leibniz und den anderen Gründern der neuzeitlichen Wissenschaften. Man beachte, dass der Erfinder der Infinitesimal-Geometrie und damit einer wichtigen Grundlage der modernen Physik sich nicht zu schade war, sich mit der Erfindung und Entwicklung von Geräten wie Feuerspritzen, hydraulischen Pressen, Windmühlen zum Antrieb von Pumpen, Uhren, allerlei Bergwerkstechnik, bis hin zu Rechenmaschinen zu befassen.

Wenn das know how als Folge eines bestimmten erworbenen Wissens möglicherweise zugleich Bedingung für den Erwerb eines weiteren Wissens ist, dann ermöglicht diese Verkettung von Praxis und Theorie ein prinzipiell unendliches Kontinuum, das man wissenschaftlichen „Fortschritt“ nennt. In diesem Sinn ist „Fortschritt“ ein spezifisches Merkmal neuzeitlicher Wissenschaft. Nicht, dass in Antike und Mittelalter nicht auch gelegentlich etwas Neues erkannt worden wäre, aber auf dem Hintergrund des interventionistischen Erkenntnisstils lässt sich ein Handlungs-/Wissenskontinuum vorstellen, das den Wissenserwerb planbar macht. „Wissen ist Macht“ und „*theoria cum praxi*“ heißt auch: Fortschritt ist planbar.

1.2. Transformation der Erkenntnisformen

Die Unterscheidung von poetischem und praktischem Wissen hat bereits Aristoteles eingeführt. Wie bei der Unterscheidung von Kontemplation und Intervention wird also am Beginn der Neuzeit nicht die Unterscheidung neu eingeführt, sondern ihre Verhältnisbestimmung. Nach Aristoteles ist poetisches Wissen ein Wissen, das seinen Zweck außerhalb des Akteurs hat. Menschen setzen es beispielsweise ein, um ein Artefakt herzustellen. Demgegenüber hat das praktische Wissen, wie Menschen es bei der Beratung eines Freundes oder der Organisation der Polis etwa durch Jurisprudenz oder durch die Ausübung der Heilkunst einsetzen, seinen Zweck im Akteur. Bacons wie Leibniz' Diktum verbinden nun diese beiden Zweckaspekte. Das poetische (technisch-naturwissenschaftliche) Wissen, das durch Intervention in die Natur gewonnen wird, dient einem praktischen Zweck, der im erkennenden Akteur liegt, nämlich (etwas verallgemeinert) der Befreiung des Menschen von natürlichen und sozialen Zwängen. Neuzeitliche Wissenschaft ist somit gerade nicht zweckfrei, sondern an einen allgemeinen humanen Zweck gebunden. Sie ermöglicht im gelingenden Fall, das Verfügungswissen zu erlangen, das der Emanzipation von natürlichen und sozialen Zwängen dient. So wie das Bacon-Dictum ist auch die Leibniz-Losung ein „Prinzip“. Es kommt in der scheinbar harmlosen grammatischen Form eines Deklarativsatzes daher. Wie so oft, so ist auch hier die grammatische Oberfläche kein eindeutiger Indikator für den tiefengrammatischen Status des Satzes. Es handelt sich nicht um eine Beschreibung, sondern um eine Aufforderung: Wissenschaftler *sollen* das Erkenntnisgeschäft im Interesse der Befreiung des Menschen von natürlichen und sozialen Zwängen ausüben – das meint „*theoria cum praxi*“ – man ergänze: „*sit*“. „*Theoria cum praxi*“ ist im Sinne Kants eine „regulative Idee“. Sie leitet das Handeln an – explizit oder implizit – auch wenn die Realisierung des Zwecks fern erscheint oder sogar als bloße Utopie oder Fiktion. Das Prinzip hat die Funktion eines mit dem wissenschaftlichen Erkenntnisprozess mitlaufenden Warn- und Mahnschildes für den Wissenschaftler. Auch in den Fällen, in denen man die Natur als fiktives Labor betrachtet (wie in der Astronomie: Planeten laufen auf „Bahnen“ usw.) oder in denen man sich das Experimentieren aus moralischen Gründen versagt (wie in der Humanmedizin) gilt grundsätzlich, dass Menschen Wissen dadurch erreichen *sollen*, dass sie durch Intervenieren in Naturabläufe die Ursachen isolieren, die für die Tatsachen (interpretiert als Wirkungen) „verantwortlich“ sind.

Es wurde schon eingangs angedeutet, dass Leibniz' Losung in deutlichem Kontrast zum Standard-Selbstverständnis vieler, vor allem vieler Naturwissenschaftler steht. Die kontemplationistische Vorstellung vom wissenschaftlichen Wissen ist nämlich keineswegs mit dem antik-mittelalterlichen Wissenschaftsverständnis untergegangen, sondern sie bestimmt noch

weithin die verbale Selbstdarstellung (allerdings – selbstverständlich und zum Glück – nicht das Handeln) der Wissenschaftler. Vielfach wird die Auffassung vertreten, dass das wissenschaftliche Erkennen ein rein kognitiv motiviertes Leben verlange. Derjenige, der sich dem Wissen und der Wahrheit verpflichte, müsse sich zu einer besonderen *Existenzform* verstehen, zu einer *vita contemplativa* oder *bíos theôrêtikós* (βίος θεωρητικός). Das bedeute zum Beispiel, dass der Wissenschaftler seine Arbeitsenergie (Motivation) allein aus seiner individuellen *Neugier* schöpfen dürfe, wohingegen andere Motive wie Ehrgeiz oder Geldgier verwerflich seien. Wissen wird als Schau der (vorgegebenen) Wahrheit (epistemologischer Ultrarealismus) mit einer kontemplativen, nur durch Neugier bestimmten Lebensform verbunden. Aus dieser Grunddoktrin ergibt sich dann die Konzeption einer zweckfreien „Grundlagenforschung“. Genau gegen diese letztlich auf Platon zurückgehende Vorstellung wendet sich die Losung von Leibniz, gemäß der der wissenschaftliche Erkenntnisprozess Handlungscharakter hat und somit einen *praktischen* Sinn.

Allerdings hat das residuale Beharren auf dem kontemplationistischen Wissenschaftsverständnis auch gut nachvollziehbare Motive. Die Vorstellung einer Forschung ohne Zweckbezug (in Abgrenzung zur angewandten Forschung und erst recht zur bloßen Entwicklungstätigkeit) hat die Nachkriegsdiskussion um die deutschen Universitäten zunächst weitgehend dominiert. Der historische Hintergrund ist zweifellos der Versuch der politischen Indienstnahme der Wissenschaften im 20. Jahrhundert z. B. durch Deutsche Physik und Deutsche Mathematik einerseits, durch Lyssenko-Biologie und die Konzeption der „parteilichen“ Wissenschaft andererseits. Diese Phänomene zeigen, dass es tatsächlich ein Konfundierungsproblem zwischen dem erläuterten „praktischen Sinn“ der Wissenschaft und einer politischen *Finalisierung der Forschung* auf partikuläre gesellschaftliche Interessen hin gibt. Auch wenn man also die Wendung von der zweckfreien Wissenschaft mit Leibniz für unsachgerecht hält, gilt es doch, die dahinter stehende Defensive gegen politisch-partikuläre Indienstnahme zu respektieren. Damit wird deutlich, dass die Debatte um die Zweckfreiheit der Wissenschaft durch unklare Begriffe, d. h. durch mangelnde Unterscheidungen geprägt ist. Insofern fordert Leibniz' Losung die wissenschaftsphilosophische Reflexion zu genaueren Unterscheidungen heraus: Es geht *einmal* um die Unterscheidung zwischen dem *Erkennen* (als Prozess), zu dem auch die Motivation des einzelnen Wissenschaftlers wie seine soziale Rolle in der scientific community gehören, und dem *Wissen* (als Resultat dieses Prozesses), das im gelingenden Fall gemäß Regeln der Überprüfung (wie Falsifizierbarkeit und Reproduzierbarkeit) Geltung für jedermann beansprucht. Es geht *ferner* um die Unterscheidung zwischen dem (universellen) *Zweck* der Institution Wissenschaft und dem (partikulären) *Nutzen*, den manche sich von ihr erhoffen. In diesem Zusammenhang ist vor allem zu unterstreichen, dass der (Menschheits-)Zweck der *Wissenschaft* nicht auf (Gruppen-)Interessen reduziert werden darf. Die erheblichen Folgen einer pünktlichen Unterscheidung von Zweck und Nutzen lassen sich an der pragmatischen Einschätzung der für die frühneuzeitliche Wissenschaftsgeschichte bedeutsamen Astronomie illustrieren. Astronomie einschließlich der Kosmologie (Theorien der Kosmogense) hat eine allgemeine Orientierungsfunktion für das menschliche Selbst- und Weltverständnis. Sie dient somit (keineswegs ausschließlich kognitiven) weltbild-erzeugenden Zwecken. In diesen Zwecken liegt die „Anwendung“ der Astronomie jenseits irgendeines partikulären Nutzens. Die Astronomie erfüllte somit für Leibniz selbstverständlich die mit der Losung *theoria cum praxi* verbundenen Vorstellungen der Aufgaben der Akademie.

Das Zweckfreiheitssyndrom ist sicher auch der Grund dafür, dass der Begriff der „Anwendung“ für viele Wissenschaftler eine pejorative Konnotation hat. Dies gilt gelegentlich auch für Zusammensetzungen wie „angewandte Mathematik“ oder „angewandte Philosophie“. Die Leibniz-Lösung sollte uns ermahnen, dass die Anwendung von Wissenschaft im Sinne des Zweckbezuges (im Unterschied zum Nutzenbezug) einen solchen status minor keineswegs verdient. Ein Missverständnis wäre auch die Unterstellung, dass bei der „Anwendung“ das wissenschaftliche Wissen von dem Fall, auf den es bezogen („angewandt“) wird, unberührt bleibt. Vielfach drückt sich diese Unterstellung in der Überzeugung aus, dass die Anwendung zur Wissensbildung nichts beitrage. Eine solche Konstellation gibt es in der Tat; Kant spricht in diesem Zusammenhang von der *bestimmenden Urteilskraft*. In ihrem Geltungsbereich, für den die Anwendung technischer Normen eine gute Illustration bildet, ändern sich die Regeln und wissenschaftlichen Grundlagen durch die Anwendung nicht. Das ist jedoch nicht der für die wissenschaftliche Wissensbildung typische Fall. Die Anwendung wissenschaftlichen Wissens fällt in den Bereich, für den Kant den Begriff der *reflektierenden Urteilskraft* eingeführt hat. Reflektieren bedeutet hier, dass in diesen Fällen die Bezugnahme des wissenschaftlichen Wissens auf einen Fall auf das wissenschaftliche Wissen zurückwirkt. So wie beim richterlichen Judiz jeder Fall das Verständnis der zugrunde gelegten Regel mehr oder weniger fortdefiniert, wird beispielsweise eine wissenschaftliche Theorie durch eine gelungene oder misslungene Anwendung epistemisch und semantisch weiter entwickelt. Wenn die „Anwendung“ wissenschaftlicher Erkenntnisse nach dem Schema der reflektierenden Urteilskraft zu deuten ist, dann ist die Beziehung einer allgemeinen Hypothese auf einen „Fall“ entweder erkenntnisbestätigend, wenn nicht sogar erkenntniserweiternd, oder aber -widerlegend, in jedem Falle aber epistemisch und semantisch bedeutsam. Die Anwendung bleibt dem wissenschaftlichen Erkenntnisprozess nicht bloß äußerlich. Dann aber ist die Dichotomie zwischen erkenntnisorientierten zweckfreien Grundlagenforschern einerseits und zweckgebundenen Anwendern andererseits nicht sachgerecht.

2 Das Ethos der Wissenschaftler

Mehr noch als der von Leibniz explizierte Praxisbezug hinsichtlich wirtschaftlichen Handelns und der dadurch sicherzustellenden Versorgung der Menschen mit Grundbedürfnissen dürfte manch einen seine Bezugnahme auf die sittliche und rechtliche Ordnung des gesellschaftlichen Zusammenlebens und des religiösen Bekenntnisses irritieren. Stellungnahmen zu ethischen Fragen sind nach der Leibniz-Lösung selbstverständliche Aufgaben wissenschaftlicher Akademien. Das ist nicht weiter überraschend, wenn man bedenkt, dass die von Aristoteles begründete *ars ethica*, die Wissenschaft vom Ethos (der Moral, der Sitte) ein niemals in Frage gestelltes Fach der Artistenfakultät war. Leibniz' Vater hatte übrigens eine solche Professur für Ethik (Moralphilosophie) in Leipzig inne. Diese Einordnung ethischer Fragen steht in deutlichem Kontrast zu einer Position, die gerade in Akademiezusammenhängen in jüngerer Zeit den disziplinären Status der Ethik bestreitet und folglich das Recht der Akademien verneint, zu Fragen des Ethos Stellung zu nehmen. Die Vertreter dieser Position scheinen Fragen dieser Art als nicht wissenschaftsfähig in den Bereich individuellen oder kollektiven Gutdünkens zu verweisen – eine Auffassung, die freilich durch den seit Beginn des 20. Jahrhunderts sich epidemisch ausbreitenden Wertjargon unterstützt wird.

Allerdings wurden aufgrund des kontemplationistischen und damit anwendungsfernen Erkenntnisstils in Antike und Mittelalter kaum spezifisch *wissenschaftsethische* Fragen diskutiert. Aus dem interventionistischen Erkenntnisstil und dem instrumentalistischen Wissensverständnis ergeben sich dagegen systematisch zwingend diejenigen Probleme, die das „Dreiecksverhältnis“ von Wissenschaft, Gesellschaft und Staat problematisch erscheinen lassen. Wenn Theorie praktisch wird, das Wissen somit eine Macht ist, dann ist zu fragen, (i), wie diese Macht kontrolliert und gegebenenfalls beschränkt wird und, (ii), wie und durch wen sie ihre Macht adäquat ausübt. Wissenschaftsethik ist somit systematisch eng mit dem neuzeitlichen Wissenschaftsverständnis verbunden.

Zur Beantwortung der genannten Fragen gibt es in der Wissenschaftsethik der Neuzeit klassische Vorstellungen, die unter den Bedingungen neuerer wissenschaftlicher Entwicklungen freilich prekär geworden sind. Danach wird Wissenschaft durch das Ethos der Wissenschaftler kontrolliert und gegebenenfalls beschränkt. Wissenschaft übt ihre Macht adäquat nicht durch direkte Herrschaft (wie Platons Wissenschaftlerkönige), sondern durch wissenschaftliche Politikberatung aus. Aristoteles und Leibniz, aber auch Cicero, Thomas von Aquin, Descartes und viele andere geben diesbezüglich die Muster vor, an denen sich der Philosoph und Wissenschaftler der Neuzeit orientiert. Philosophie und Wissenschaften sollen über ihre esoterischen Aufgaben hinaus (deren Bearbeitung freilich unverzichtbar ist) exoterische Aufgaben übernehmen, und die Akademie soll der Ort sein, an dem die esoterischen Fragen auf die exoterischen Zwecke bezogen, aber auch an diese zurückgebunden werden.⁶

Macht kann missbraucht werden und bedarf der Beschränkung, diese wiederum der Kontrolle. Aufgrund des Expertendilemmas kann Wissenschaft letztlich nur durch sich selbst kontrolliert werden. Daher wird das Wissenschaftsethos zu Beginn der Neuzeit vor allem im Sinne einer Selbstkontrolle der Wissenschaften verstanden. Gerade die Akademien sind die intellektuellen Orte, an denen nach Leibniz und den anderen Akademiegründern die Wissenschaft die Kontrolle über sich selbst ausübt. Neuzeitliche Wissenschaft schließt das Ethos der Wissenschaftler ein und ruft damit die Wissenschaftsethik auf den Plan.

Das Ethos einer Interaktions- und Kommunikationsgemeinschaft ist das Ensemble der unproblematisierten Regeln des Handelns, an die sich jedermann gebunden weiß und deren Befolgung durch andere jedermann erwarten darf. Ein solches Ethos ist gewöhnlich implizites Regelwissen. Wird es explizit zum Thema, ist dieser Vorgang Indikator einer Krise von Interaktions- und Kommunikationszusammenhängen. Die in letzter Zeit zunehmende Zahl von Veranstaltungen zum Thema „Ethos der Forschung“ sind Indizien für eine Glaubwürdigkeitskrise der Wissenschaften. Diese Krise ist durch einige spektakuläre Forschungsfälschungen der letzten Zeit keineswegs hinreichend erklärt. Vielmehr konnten diese Ereignisse in der Öffentlichkeit wohl nur mit diesem hohen Grad an Aufmerksamkeit diskutiert werden, weil sie eine mehr oder weniger latente Stimmung tiefen Unbehagens manifest gemacht und verstärkt haben. Daher ist die Annahme einer solchen Krise keineswegs trivial. Noch weniger trivial ist, welche Konsequenzen man aus ihr zu ziehen hat. Die Glaubwürdigkeitskrise der Wissenschaften hat unterschiedliche historisch-kulturelle Aspekte, die mit Blick auf eine mögliche Therapie diagnostisch deutlich zu differenzieren sind (Vgl. genauer Gethmann 2000).

Wird das Ethos der Wissenschaften zum Thema, dann richtet sich der Blick auf die Wissenschaftsethik (vgl. Gethmann 1996). Ihre Aufgabe besteht in der systematischen Rekonstruktion

derjenigen Handlungsorientierungen, die durch das den Wissenschaften immanente Verständnis ihres jeweiligen Gegenstandsbereichs, der wissenschaftlichen Verfahren seiner Beschreibung und Erklärung sowie der durch das wissenschaftliche Wissen eröffneten Handlungsmöglichkeiten mitgesetzt sind. Die Wissenschaftsethik ist dabei als Sub-Disziplin der (philosophischen) Ethik zu verstehen, die sich auf ein besonderes soziales, durch besondere Erkenntnisformen bestimmtes Handlungsfeld bezieht. Die Wissenschaftsethik hat sich gemäß dieser Aufgabenstellung vor allem mit zwei zusammenhängenden Phänomenbereichen zu befassen:

- Sie bezieht sich auf das spezifische Ethos der Wissenschaftlergemeinschaft, um diejenigen Orientierungen zu rekonstruieren, an die der Wissenschaftler im Interesse der Wahrheitsfindung gebunden ist. Dabei besteht ein gleitender Übergang von allgemeinen Handlungsregeln (z. B. des Verbots der Fälschung von Forschungsergebnissen) zu den spezifischen Regeln einzelner Disziplinen im Rahmen ihrer jeweiligen *Methodologien*.
- Die Wissenschaftsethik befasst sich mit dem Verhältnis von allgemeinen moralischen Orientierungen zu den besonderen Problemen der Erzeugung und Verwendung wissenschaftlichen Wissens, wobei es sowohl bei der Erzeugung als auch bei der Verwendung vor allem um die praktischen Folgen des Wissens geht.

Wenn Leibniz in der eingangs zitierten Denkschrift den Wissenschaftlern aufgibt, „Entdeckungen“ im Interesse der Ehre Gottes und der Aufrechterhaltung und Verbreitung von Sitte und Recht herbeizuführen, dann sind offenkundig solche Einsichten gemeint, die sowohl das interne Ethos der Wissenschaftlergemeinschaft als auch die Einbettung dieses Ethos in den Rahmen allgemeiner, im Grenzfall sogar universaler Handlungsorientierungen betreffen. Es ist also besonders wichtig, mit der Aufgabenstellung der Wissenschaftsethik nicht nur und nicht einmal in erster Linie moralische Fragen der Kleingruppeninteraktion zu verbinden. Wissenschaftliche Kommunikation ist nicht erst mit Beginn von „Big Science“ ein Problem der moralischen Orientierungen großer Gesellschaften. Schon in der Kleingruppeninteraktion ist die Überprüfung der Einhaltung moralischer Verpflichtungen nicht vollständig operationalisierbar. Ob eine Äußerung wahrhaftig und verlässlich ist, kann zwar im Einzelfall grundsätzlich kontrolliert werden. Bei komplexen Verhältnissen muss man jedoch darauf setzen, dass die Kommunikationspartner entsprechende Handlungsschemata zu Verhaltensweisen habitualisiert haben, d. h., dass sie „tugendhaft“ sind. Während nun in der kommunikativen Kleingruppeninteraktion entweder ein Vertrauen in die Einhaltung der moralischen Präsuppositionen etabliert ist oder aber durch soziale Kontrolle in vielen Fällen gewährleistet werden kann, verliert sich die so geartete moralische Stabilität in der Großgruppenkommunikation. Es ist somit nach Strategien zu fragen, die erlauben, auch unter Bedingungen der Großgruppenkommunikation Erwartungen an die Glaubwürdigkeit des Wissenschaftlers in realistischer Weise einzulösen. An die Stelle der individuellen Habitualisierung tritt in der Großgruppeninteraktion die Institutionalisierung von Handlungsschemata. Das gilt für viele Lebensbereiche: Nicht die Wahrhaftigkeit des individuellen Nachrichtensprechers, sondern die Organisation des Rundfunks ist beispielsweise die adäquate Ebene, auf der die Problemlösung zu suchen ist. Entsprechend ist nicht die Moral des individuellen Wissenschaftlers, sondern die institutionelle Orientierung und die entsprechende Kontrolle innerhalb einer Wissenschaftsinstitution ausschlaggebend. Folgerichtig überträgt Leibniz der nach seinem Rat zu gründenden wissenschaftlichen Einrichtung diese Aufgabenstellung.

Da Verfahren der direkten sozialen Kontrolle das Ethos der wissenschaftlichen Interaktion nicht (ausschließlich) bestimmen können, müssen Kontrollinstitutionen wissenschaftlicher Interaktion geschaffen werden.

Alle Versuche der Institutionalisierung wissenschaftlicher Kontrolle scheinen allerdings am *Expertendilemma* zu scheitern. Scheinbar können Wissenschaftler in kompetenter Weise nur durch Wissenschaftler kontrolliert werden, was die moralische Intaktheit der Kommunikation der Wissenschaftler bereits unterstellt. Um das Dilemma aufzulösen, müssen Überlegungen in mehreren Richtungen angestellt werden:

- (i) Eine erste Überlegung gilt der außer-wissenschaftlichen Öffentlichkeit. Angesichts der Bedeutung der Wissenschaften für die Öffentlichkeit aufgrund ihres „praktischen Sinns“ müssen die Laien als die „jedermanns“ des wissenschaftlichen, auf Situationsinvarianz abzielenden Diskurses zwar nicht Experten werden, aber sie müssen in der Lage sein, diskursive Prozeduren zu kontrollieren. Eine wissenschaftlich-technische Kultur ist nur erfolgreich, wenn ein bestimmtes Maß an wissenschaftlicher Aufgeklärtheit bereits Realität ist. Kant spricht mit Bezug auf Wissenschaft daher vom Faktum der (theoretischen) Vernunft. Unter „Vernunft“ versteht Kant das Vermögen der Verallgemeinerbarkeit. Nur eine Gesellschaft von Menschen, die ansatzweise Wissenschaftler sind, d. h. in der Lage sind, die Erzeugung wissenschaftlichen Wissens prozedural nachzuvollziehen, kann von der Wissenschaft profitieren.
- (ii) Diese Antwort betrifft allerdings nur die „Außenseite“ der Wissenschaft. Wegen des Expertendilemmas muss auf ein wenigstens partiell intaktes Ethos rekuriert werden. Wenn alle Akteure korrumpiert sind, dann sind es auch beispielsweise die Richter, die die Einhaltung der Regeln überwachen sollten. Das wissenschaftliche Standesethos ist sozusagen das praktische Faktum der Vernunft. Ein Standesethos besteht und wirkt allerdings nicht automatisch; es bedarf vielmehr der systematischen Ausbildung und der Unterstützung durch die Gesellschaft.
- (iii) Das Standesethos muss sich in Fällen besonderer Wichtigkeit und unter der Maßgabe einer gewissen Dauerhaftigkeit zu institutionellen Prozeduren verdichten. Mit der Ausarbeitung von entsprechenden Richtlinien für richtige Handlungsweisen („good practice“) der Forscher gehen daher beispielsweise die Deutsche Forschungsgemeinschaft und die großen Forschungsverbünde in die richtige Richtung.

Daraus ergibt sich zusammengefasst, dass sich eine wissenschaftliche Einrichtung, die sich an der Losung *theoria cum praxi* orientiert, besonders der Aufgabe stellen muss, eine aufgeklärte Öffentlichkeit gewissermaßen als Resonanzboden auszubilden und zu fördern, um in deren Rahmen ihr eigenes Standesethos zu formulieren und dieses durch institutionelle Prozeduren zu kontrollieren.

3 Wissenschaftliche Politikberatung

Nur, weil Theorie praktisch werden kann und Wissen entsprechend Macht bedeutet, gibt es ein Problem mit den gesellschaftlichen Folgen des Wissens. Die bloße Kontemplation der Wahrheit

erzeugt keine gesellschaftlichen Probleme, mit Ausnahme des Problems, dass die Müßiggänger irgendeine Subsistenz brauchen, weswegen sie entweder reich oder unbedürftig waren oder einer Klostergemeinschaft beitreten mussten. Wissenschaft, die Macht hat, hat dergleichen nicht nötig. Ihr Subsistenzsicherungsproblem ist jedenfalls im Prinzip gelöst. Aber sie wirft dann auch Probleme auf, die mit der Machtausübung verbunden sind. Die Experten für mögliche Folgen sind die Wissenschaftler, die selbst aber nicht legitimiert sind, Macht auszuüben. Die grundsätzlich richtige Antwort auf die scheinbar paradoxe Problemkonstellation ist die wissenschaftliche Politikberatung. Die Gründung der Leibniz-Sozietät und nachmaligen Akademie ist ein bedeutendes Beispiel für wissenschaftliche Politikberatung, denn sie wurde ja nicht durch Leibniz selbst, sondern auf seinen Rat hin durch den brandenburgischen Kurfürsten Friedrich III. gegründet. Leibniz selbst war nie von Beruf Wissenschaftler, sondern er hat seine universale Gelehrsamkeit vor allem im Rahmen wissenschaftlicher Beratung gegenüber den feudalen und kirchlichen Obrigkeiten eingesetzt. Die Leibniz-Lösung ist daher nicht nur wegen dieser biographischen Zusammenhänge, sondern vor allem wegen der wissenschaftsphilosophischen Präsuppositionen auf die wissenschaftliche Politikberatung zu beziehen.

Mit dem Konzept der wissenschaftlichen Politikberatung verschärfen sich allerdings die Probleme, die unter dem Begriff des wissenschaftlichen Ethos schon angesprochen wurden. Im Rahmen der wissenschaftlichen Politikberatung wird das Ethos der Wissenschaftler nicht auf ihre Handlungen beschränkt, die sie innerhalb der *scientific community* ausführen, sondern es wird für die wissenschaftlich-technisch geprägte Gesellschaft als Ganze relevant. Das Grundproblem in diesem Zusammenhang ist, dass die Wissenschaftler die Reflexion auf die Folgen des Wissens als ihre, d. h. als wissenschaftliche, nicht als politische Aufgabe übernehmen und ausführen müssen. Die Wissenschaft hat nicht nur – nach einem Verbalisierungsvorschlag von Jürgen Mittelstraß, der die aristotelische Unterscheidung von *Poiesis* (ποίησις) und *Praxis* (πράξις) weiterführt – eine Zuständigkeit für das Verfügungswissen, sondern auch für das Orientierungswissen (Mittelstraß 1982). Die Reflexion auf die Folgen des Wissens ist nicht ein Hobby von Wissenschaftlern in ihrer Freizeit, auch nicht eine Sache von außerwissenschaftlichen „Anwendern“, beispielsweise Journalisten, die sich für „Sachwalter des Ganzen“ halten.

Abgesehen davon, dass diese Orientierungsaufgabe der Wissenschaften von nicht wenigen Wissenschaftlern immer noch ignoriert oder sogar unter Hinweis auf die Wertfreiheitsthese abgelehnt wird, ist diese Aufgabenstellung mit erheblichen Problemen verbunden. Unsere Gesellschaft leidet derzeit nicht (mehr) darunter, dass es zu wenige Expertengremien gibt, in denen Wissenschaftler neben anderen ihre Expertise für die wissenschaftliche Politikberatung zur Verfügung stellen. Im Gegenteil: Es besteht eine unübersehbare Vielfalt von wissenschaftlichen Expertengremien auf Bundes- und Landesebene ohne klare Abgrenzung der thematischen Zuständigkeiten. Gelegentlich wurde der Zustand schon als „Rätorepublik“ (Die ZEIT) ironisiert. Ferner gibt es zweifellos eine gewisse Gefahr der Überschreitung der durch die Prinzipien der Gewaltenteilung vorgegebenen Zuständigkeitsgrenzen mit der Folge der Entsubstantiierung der Zuständigkeit der Parlamente. Eine strukturelle Ordnung könnte dadurch erreicht werden, dass die wissenschaftliche Welt der Politikberatung in den Akademien konzentriert wird. Das war zweifellos die Vorstellung von Leibniz, wie sie in beeindruckender Weise von der Royal Society verwirklicht wird. In erster Linie geht es jedoch nicht um Organisationsfragen, sondern um Fragen der Einhaltung von Postulaten, deren Befolgung gesichert sein muss, wenn Wissenschaft

ihre Macht *modulo* wissenschaftlicher Politikberatung erfolgreich ausüben soll. Zu nennen sind vor allem die Postulate (i) der Transparenz der Verfahren, (ii) der Legitimation durch Sachkunde und (iii) der Unparteilichkeit der Urteilsbildung.

- (i) Transparenz der Verfahren. Der erste Verfahrensschritt der hier zu beachten ist, ist die Rekrutierung von wissenschaftlichen Beratungsgremien. Es liegt auf der Hand, dass die Beauftragung von Wissenschaftlern durch die Adressaten der Beratung den Eindruck von „Gefälligkeitsberatungen“ erweckt. Daher darf die Berufung nicht durch die Adressaten der Beratung, sondern nur durch die Institutionen der scientific community erfolgen. Akademien, die unter der Losung *theoria cum praxi* arbeiten und dementsprechend die Berufung ihrer Mitglieder nicht nur unter dem Gesichtspunkt der kognitiven Leistungen, sondern darüber hinaus auch der operativen Fähigkeiten im Bereich der wissenschaftlichen Politikberatung vollziehen, könnten unter diesem Gesichtspunkt einen unverdächtigen Rahmen bieten.
- (ii) Legitimation durch Sachkunde. Ein sicher weithin bekanntes Problem liegt darin, dass viele Wissenschaftler die Definition der eigenen Einschlägigkeit und Sachkunde sehr großzügig bemessen. Daher muss es eine durch die scientific community kontrollierte Zertifizierung von Einschlägigkeit und Zuständigkeit geben. Dafür gibt es in Deutschland bisher keine institutionellen Vorkehrungen. An dieser Stelle ist anzumerken, dass der Begriff des wissenschaftlichen Sachverständigen nur unter der Bedingung angewendet werden kann, dass an einem „emphatischen“ Wahrheitsbegriff festgehalten wird – was nicht dasselbe ist, wie das Vertreten einer bestimmten Wahrheitstheorie. Wissenschaft, die sich vom der Wahrheitssuche verabschiedet, um im Sinne postmoderner Buntheit die (angeblichen) Machtansprüche der Vernunft zu brechen, hat nichts in der Hand, kraft dessen sie noch Anspruch erheben kann, sich zu Gehör zu bringen. Es ist eine wichtige Aufgabe der Wissenschaftsphilosophie, den wissenschaftlichen Wahrheitsanspruch zu verteidigen und in diesem Zusammenhang am fallibilistischen Ethos (als methodischer Grundeinstellung), an der wissenschaftlichen Toleranz (als Tugend der wissenschaftlichen Interaktion) und der Abwehr wissenschaftlichen Fehlverhaltens festzuhalten.
- (iii) Unparteilichkeit der Urteilsbildung. Der Hinweis auf das Problem der Gefälligkeitsberatung weist bereits darauf hin, dass die Glaubwürdigkeit der wissenschaftlichen Politikberatung nur dann gewährleistet werden kann, wenn die Unparteilichkeit der wissenschaftlichen Urteilsbildung deutlich erkennbar ist. Jedoch werden beispielsweise die sogenannten Wissenschaftlerbänke der Enquêtekommissionen des Deutschen Bundestages und der Landtage durch die Fraktionen der Parlamente und nicht durch Akademien oder andere Wissenschaftsorganisationen besetzt. Dies zeigt auch, dass nur ein Teil der Probleme Probleme der Wissenschaft sind. Der andere Teil ist den Adressaten der wissenschaftlichen Politikberatung zuzurechnen.

Insgesamt fehlt eine Institution der deutschen Wissenschaft, die hinsichtlich der Transparenz der Verfahren, der Legitimation durch Sachkunde und Unparteilichkeit der Urteilsbildung eine konstitutive und kontrollierende Rolle spielt. Welche Institution wäre hierzu mehr geeignet, als eine, die sich der Losung *theoria cum praxi* unterstellt?

Anmerkungen

1. Vgl. die kritische Diskussion bei H. Laitko (2001).
2. Die durch Dilthey vollzogene Klassifikation von Natur- und Geisteswissenschaften bezieht sich nur auf die der Artistenfakultät im Rahmen der preußischen Universitätsreform nachfolgende Philosophische Fakultät, die im Laufe des 19. Jahrhunderts eine ungeordnete Proliferation von Disziplinen erlebte. Allerdings wurde die Klassifikation schon von Dilthey weder als vollständig (unter Hinweis auf Mathematik und Philosophie) noch disjunkt (unter Hinweis auf Psychologie und Geographie) betrachtet. Es ist also historisch und systematisch unsauber, alle Disziplinen, die nicht Naturwissenschaften sind, unter Geisteswissenschaften zu subsumieren. Es ist ferner daran zu erinnern, dass der „Geist“ der Geisteswissenschaften nicht der subjektive Geist des Descartes (über den jeder Wissenschaftler verfügt), sondern der objektive Geist Hegels ist. Die Geisteswissenschaften entstehen bei Dilthey erst auf dem Hintergrund des historischen Dreischritts: (i) der Zuordnung eines Wahrheitsanspruchs auch zu den philologischen und historischen Disziplinen, wie Kant es in seiner Schrift über den Streit der Fakultäten gefordert hat; (ii) der Zuordnung eines spezifischen Materialobjekts geisteswissenschaftlicher Forschung, wie Hegel es in seinem Begriff des objektiven Geistes entwickelt hat; (iii) der Zuordnung eines auf diese Gegenstände des objektiven Geistes bezogenen spezifischen Typs von Erfahrungswissenschaft durch Dilthey. Diese drei für die Ausdifferenzierung der Geisteswissenschaften konstitutiven Schritte vollziehen sich erst geraume Zeit nach Leibniz, so dass die heute geläufige und oft wenig reflektierte Unterscheidung zwischen Natur- und Geisteswissenschaften jedenfalls nicht in das Wissenschaftsverständnis von Leibniz re-projiziert werden darf.
3. Vgl. v. a. die wissenschafts- und philosophiehistorische Rekonstruktion von J. Mittelstraß (1970) sowie die Beiträge von J. Mittelstraß (2016) und E. Knobloch (2016).
4. Die folgenden Überlegungen wurden teilweise schon verwendet in Gethmann (2003).
5. Vgl. gr. *ποίησις* (herstellendes Handeln) im Unterschied zur *πρᾶξις* (zwischenmenschliches Handeln).
6. Die Unterscheidung esoterisch – exoterisch spielt auf den bildungssprachlichen Wortgebrauch von „Esoterik“ an; vgl. gr. *ἐξωτερικὸς* (nach außen gewandt, jedermann zugänglich), *ἐσωτερικὸς* (nach innen gewandt, nur einer Gruppe „Auserwählter“ zugänglich). Die Verwendung der Termini Esoterik und Exoterik (hier in Bezug auf die Philosophie) folgt Krings (1978); vgl. weiterführend Gethmann (2010).

Literatur

- Gethmann, Carl Friedrich (1996). „Wissenschaftsethik“. In: *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*. Hrsg. von Jürgen Mittelstraß. Stuttgart: Metzler, S. 724–726.
- (2003). „Wissen als Macht. Wissenschaftsphilosophische Überlegungen“. In: *An den Fronten der Forschung: Kosmos – Erde – Leben*. Hrsg. von Rolf Emmermann et al., Stuttgart u. a.: Hirzel, S. 238–245.
- (2000). „Die Krise des Wissenschaftsethos. Wissenschaftsethische Überlegungen“. In: *Ethos der Forschung. Ringberg-Symposium Oktober 1999*. Hrsg. Gottfried Plehn, München: Max-Planck-Gesellschaft, S. 25–41.
- (2010). „Philosophie zwischen Lebenswelt und Wissenschaft“. In: *Lebenswelt und Wissenschaft*. Akten des XXI. Deutschen Kongresses für Philosophie in Essen 2008. Hamburg: Meiner (Deutsches Jahrbuch Philosophie Band 2), S. 3–16.
- Krings, Hermann (1978). „Über Esoterik und Exoterik der Philosophie“. In: *Wozu Philosophie?* Hrsg. von Lübke, Hermann. Berlin: de Gruyter, S. 148–162.
- Laitko, Hubert (2001). „Theoria cum praxi. Anspruch und Wirklichkeit der Akademie“. In: *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät* 45. Berlin: Trafo-Verlag, S. 5–56.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (seit 1923). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Berlin/Boston: de Gruyter.
- Mittelstraß, Jürgen (1982). *Wissenschaft als Lebensform*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- (1970). *Neuzeit und Aufklärung. Studien zur Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft und Philosophie*. Berlin: de Gruyter.
- (1992). *Leonardo-Welt. Über Wissenschaft, Forschung und Verantwortung*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- (2016). „Enzyklopädische Wissensordnungen“. In: *Vision als Aufgabe. Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert*, Hrsg. von Martin Grötschel et al. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, S. 5–15.

- Knobloch, Eberhard (2016). „Finanz- und Versicherungswesen im Zeichen Leibniz'scher Auffassung von Gerechtigkeit“.
In: *Vision als Aufgabe. Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert*, Hrsg. von Martin Grötschel et al. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, S. 97–106.
- Schäfer, Lothar (1993). *Das Bacon-Projekt – Von der Erkenntnis, Nutzung und Schonung der Natur*, Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

Leibniz ein Vordenker der Idee des Netzes und des Netzwerkes?

1 *Worum es geht*

Die Begriffe ‚Netz‘ und ‚Netzwerk‘¹ haben eine eng mit der Moderne verbundene Karriere gemacht und sind im Zeitalter des World Wide Web in geradezu inflationärem Gebrauch. Doch die theoretische Reflexion der Netzkategorie hält mit dieser Karriere kaum Schritt.² Das ist die Situation, vor deren Hintergrund unsere Frage entsteht:³ Kann die Ordnungsform ‚Netz‘ bzw. ‚Netzwerk‘ eine fruchtbare Beschreibungskategorie sein, um charakteristische Züge im Denken und Handeln von Leibniz zu erfassen? Und zwar ‚fruchtbar‘ nicht nur, weil aus diesem Blickwinkel neues Licht auf Leibniz’ Schaffen fallen kann, sondern auch weil sich durch diese Perspektive für die theoretische Bestimmung und Reflexion der Termini ‚Netz‘ und ‚Vernetzung‘ wichtige Impulse finden lassen? *Leibniz hat in Verbindungen gedacht und er hat für das Schaffen von Verbindungen gelebt.* Lässt sich nun in den divergierenden praktischen und theoretischen Feldern, auf denen Leibniz als Philosoph, Wissenschaftler, Historiker, Jurist, Ingenieur, Kirchenpolitiker, Diplomat und nicht zuletzt als unermüdlicher Briefeschreiber und Kommunikator tätig war, eine strukturelle Ähnlichkeit auffinden, die als ‚netzförmige Ordnungsform‘ beschreibbar ist?

Doch was berechtigt eine solche Frage, wenn man bedenkt, dass ‚Netz‘ als wissenschaftlicher Terminus für das Beschreiben von Organisationsformen in Natur und Kultur erst nach Leibniz im Übergang zum 19. Jahrhundert in Gebrauch kam?⁴ Unstrittig ist, dass Leibniz mit seinen über 15 000 Briefen an 1100 Briefpartner in 16 Ländern ein Netzwerk von Korrespondenzen schuf,⁵ das selbst in der briefeschreibenden europäischen Gelehrtenrepublik einmalig war und in Form des gesamten erhaltenen Briefwechsels 2007 in das Weltdokumentenerbe der UNESCO aufgenommen wurde. „Wie kaum ein anderer Gelehrter war Leibniz ein Mann der Kommunikation und der Vernetzung“,⁶ beschreibt die Niedersächsische Landesbibliothek die Korrespondenzenbeziehungen Leibnizens, und zumindest hinsichtlich seines Briefwechsels ist eine Beschreibung als ‚Netzwerk‘ durchaus geläufig (Heuvel 2009; Kliege-Biller 2012; außerdem Künzel/Bexte 1990). Doch unsere Annahme geht darüber hinaus: Nicht nur die vielfältigen Korrespondenzen drängen die Idee der Vernetzung auf. Vielmehr finden sich Ansätze zur Ordnungsform des Netzes bei Leibniz *theoretisch* in der Metaphysik, Epistemologie und dem Enzyklopädiegedanken, *wissenschaftspraktisch* in seinen Überlegungen zu Wissenstheatern der Natur und Kunst sowie in seinen Anregungen zu Akademiegründungen, *kirchenpolitisch* in dem ökumenischen Anliegen und in dem Impuls zur Reunion von politisch Gespaltenem, *ingenieurstechnisch* in den Entwürfen zu Wasser- und Entwässerungstechniken. In dieser Aufzählung werden Bereiche genannt, die disparater kaum sein könnten. Doch auf eben diese *Diversität* kommt es uns an. Denn unsere Hypothese ist, dass die Netz- und Vernetzungsidee bei Leibniz in ganz unterschiedlichen theoretischen und praktischen Domänen als ein *implizites Muster* in unterschiedlichen Variationen

diagnostizierbar ist. Leibniz ist ein Denker des Netzwerkes ‚avant la lettre‘. Allerdings: Nicht mehr als erste Fingerzeige für diese Vermutung können gegeben werden; die folgenden Überlegungen bleiben also tentativ: Sie blicken aus einer ‚Vogelflugperspektive‘ auf Leibniz’ Leben und Denken: So können durch den Überblick Merkmale hervortreten, die dann, wenn wir uns *inmitten* eines einzelnen Feldes befinden, gar nicht zutage treten würden. Doch klären wir zuerst, was der Begriff ‚Netz‘ in unserem Zusammenhang bedeutet.

2 Was ist ein Netz?

Spinnennetze und Fischernetze sind uns vertraut; es sind sichtbare, teilweise auch handhabbare Dinge, Hilfsmittel zum Beutegreifen und Einfangen, vorkommend in Natur wie in Kulturen: Etwas, das lebt, wird gefangen, stillgestellt und meist zum Tode befördert. Doch wenn wir an moderne Verwendungen des ‚Netzes‘ denken, also an Energieversorgungsnetze, Verkehrsnetze, Telekommunikationsnetze oder das Internet, so wird da etwas ganz Anderes wirksam: In solchen Netzen werden Bewegungen nicht etwa unterbunden, vielmehr verbunden und befördert. Solche Netze sind Formen großflächiger Organisation und zumeist keine festumgrenzten, sinnlich überschaubaren Dinge, sondern dynamische Verbindungen, deren Charakteristikum es ist, wachsen zu können, im Falle des Internets sogar exponentiell. Organisationsnetze bekommen, obwohl menschengemacht, oftmals selbst die Signatur von etwas Lebendigem, das seinerseits einer Evolution unterliegt.

So klar dieser Unterschied auch ausfällt zwischen dem Netz als Gerät zum Stillstellen von Mobilität und dem Netz als Organisationsform zur Erhöhung von Mobilität, diese Perspektiven des Netzförmigen sind eher als die Enden *einer begrifflichen* Skala zu denken und reale Netzphänomene können durchaus als Mischungsverhältnisse beider Formen auftreten: im Stau der Autobahn stehend, sind wir zweifellos in einem Mobilität befördernden Netz gefangen und stillgestellt. Allerdings markiert – wie wir meinen – der Aspektwechsel vom statischen Fangnetz zum dynamischen Organisationetz den Ausgangspunkt der modernen Vorstellung vom Netz. Wenn wir im Folgenden Leibnizens Tun im Lichte der Netzidee interpretieren, so geht es zumeist – wenn auch nicht immer – um das Letztere, um Verknüpfungsformen, die Beweglichkeit nicht etwa einschränken oder unterbinden, sondern eröffnen und steigern (sollen).

Die Bildungselemente von Netzen sind Knoten und Kanten. Netze entstehen aus der Verknüpfung beider, indem von Knoten und Kanten umgebene Zwischenräume, also ‚Maschen‘ gebildet werden. Knoten und Kanten werden graphisch als Punkte und Linien dargestellt; daher ist das Diagramm eines Netzes auch die einfachste Form, in der dynamische Netze sichtbar (gemacht) werden.⁷

Sobald es nicht um Netze als überschaubare, handhabbare Dinge geht, sondern um Netzwerke verstanden als großräumige Infrastrukturen oder gar informelle Gruppenbildungen, bildet das diagrammatisch zu verzeichnende relationale Gefüge des Netzes eine abstrakte Struktur. Dieser Umstand wird verstärkt, insofern mehrere Netze sich überlagern oder enthalten können; Knoten avancieren dann zu Elementen ganz unterschiedlicher Konfigurationen. *Ein* Netz kommt selten allein. Auf diese Attribute der Strukturalität und Multiplizität in der Funktion kommt es hier an, wird dadurch doch nahegelegt, dass es dynamische Netze nicht einfach gibt – wie ein Spinnen-

oder Fischernetz – sondern dass komplexe Organisationsformen als Netz *beschrieben* werden können. Dem korrespondiert, dass solche Netze für diejenigen, die sich darin bewegen und diese nutzen, die also keine Vogelflug- oder Satellitenperspektive einnehmen, gewöhnlich unsichtbar bleiben. Erst die handliche Reproduktion als *Karte*, bringt ein Straßennetz oder U-Bahnnetz tatsächlich zur Anschauung. Die Relationalität als Grundstruktur von Netzen, sowie deren relativ einfache diagrammatische Repräsentierbarkeit sind so eng miteinander verbunden, dass zu vermuten ist, dass der Graphismus von Netzwerkdiagrammen die Karriere des Netzes als Beschreibungskategorie moderner Verbindungsphänomene überhaupt erst eröffnet hat.⁸

Im Hinblick auf Leibnizens Philosophie ist nun entscheidend: Für Leibniz existieren Relationen nicht in der Welt – welche alleine aus Einzeldingen, also Individuen besteht – sondern sind ideale Produkte des Geistes.⁹ *Wir* sind es, die Relationen *stiften*. Wenn wir also ‚Relationalität‘ für ein Charakteristikum von Netzen halten und dabei deren Abstraktionscharakter, Unsichtbarkeit und Strukturalität betonen, und wenn Relationen bei Leibniz allein durch Erkenntnis konstruierte und konstituierte Allgemeinbegriffe sind, dann ist hier angelegt, dass für Leibniz das Netz eben kein konkret auffindbares Ding, sondern vielmehr eine *Perspektive* ist, um ein komplexes Zusammenwirken von Individuen zu entwerfen, zu verstehen und als eine Architektur mannigfaltiger Wechselwirkungen auch praktisch zu realisieren. Im Horizont von Leibniz’ Theorie der Relationen haben Netze als Gefüge von Strukturen den Status von ‚epistemischen Dingen‘; oder auch: sie sind virtuell. Sie sind Modelle weniger von etwas als für etwas.

Da der Nachlass von Leibniz sowohl als Netzwerk von Korrespondenzen wie auch die Fülle seiner gesammelten Textentwürfe und Notate als inhaltlich miteinander verwobener ‚Zettelkasten‘ recht offensichtlich in der Ordnungsform eines Netzes beschreibbar sind, berücksichtigen wir hier im Folgenden andere Sparten und beziehen uns auf drei große Felder: (i) Auf die Metaphysik, insbesondere die Monadenlehre; (ii) auf die Organisation von Wissen und Wissenschaft, sowie (iii) auf Leibniz’ technische Ideen zur Verbindung von Wasser- und Windkünsten im Bergbau.

3 *Das frühneuzeitliche Postnetz als Voraussetzung der ‚Gelehrtenrepublik‘*

„Korrespondenz (ist) Netzwerkgeschehen“ (Gierl 2004: 426, zit. Heuvel 2009: 29). Dass Leibniz in der Lage gewesen ist, sich in mehr als 15 000 Briefen an mehr als 1000 Briefpartner zu wenden, wäre ohne ein entwickeltes Grenzen übergreifendes Postwesen undenkbar. Das faktische Vorhandensein eines sich verdichtenden Netzes von Poststationen ist das unabdingbare Milieu für die Entstehung des Leibniz’schen Kommunikationsnetzwerkes.¹⁰ Gerd van der Heuvel (2009: 12) hat herausgearbeitet, dass das Postsystem, welches Leibniz und seinen Zeitgenossen zur Verfügung stand, bereits „ein Netz der Netze“ war, das durch teils öffentliche, teils private Dienstleistungen in Form von miteinander verbundenen Relaisstationen die überregionale Mobilität von Briefen, Waren und Personen gewährleistete. Die Ausbildung dieses frühneuzeitlichen Postsystems ist eine materiale Bedingung dafür, dass die Briefkultur gelehrten Austausches in der Frühzeit der Aufklärung überhaupt entstehen konnte. Ohne diese ‚Nervenbahnen‘ technisch zu bewerkstellender Kommunikation und Information könnte ein Briefkorpus vom Format des Leibniz-Nachlasses nicht entstehen. Zugleich ist das zu Leibnizens Zeiten sich herausbil-

dende Postwesen modellbildend für alle nachfolgenden Formen dynamischer Netze (Behringer 2003): Denn das infrastrukturelle Gewebe der Poststationen fördert nicht nur Beweglichkeit und kommunikativen Austausch mit immer schnellerer Überbrückung der räumlichen Distanzen, sondern ist auch selbst in Bewegung, weil in beständigem Wachstum begriffen. Klar ist, dass der rege Verkehr der Fuhrwerke ihrerseits ein Wegenetz voraussetzt, das dauerhaft und ohne Schaden für die Kutschen befahren werden kann.

Leibniz ergänzt seinen brieflichen Austausch häufig mit persönlichen Begegnungen; die mit seinem Amt am Hannoveraner Hof verbundene Residenzpflicht legte er großzügig aus, der Ortswechsel wird ihm zum Lebenselixier. Und tatsächlich dient das *öffentliche* Verkehrswesen auch ihm häufig als persönliches Beförderungsmittel. Doch Leibniz ist nicht nur Nutznießer des Postsystems, sondern bemüht sich aktiv um dessen Verbesserung (Heuvel 2009: 27). Dazu gehört seine Idee, das Kalenderprivileg der neugegründeten Sozietät der Wissenschaften in Berlin im Sinne eines „allgemeinen Post-Calenders“¹¹ zu nutzen, bei dem Reisende aus einer geographischen Karte der Posttrouten jeweils die Zeit für den Transport zu bestimmten Orten im Voraus kalkulieren können. Dazu gehört auch seine Erfindung eines individuell zu nutzenden ‚Poststuhls‘, den Reisende als gefederte Schutzhülle in die Kutschen mitnehmen können.¹² Dazu gehören schließlich Leibnizens in mehreren Zeichnungen dokumentierte Vorschläge, wie der Rollwiderstand der Wagenräder vermindert und damit die Transportgeschwindigkeit noch einmal erhöht werden könne.¹³ Schließlich hat er sich als Jurist und Historiker in staatlichem Dienst betätigt, indem er etwa die Braunschweigisch-Lüneburgische Landespost gegen Monopolansprüche der Fürsten von Thurn und Taxis verteidigte.¹⁴

Halten wir fest: Leibniz verfügt über die unmittelbare Erfahrung mit einem dynamischen, expandierenden Netz der Kommunikationsinfrastruktur. Er ist nicht nur Zeitzeuge der Entstehung dieser frühneuzeitlichen Vernetzung in Gestalt des sich verdichtenden Relaisystems von Poststationen und er ist nicht nur dessen so umtriebiger wie kontinuierlicher Nutzer. Vielmehr versucht Leibniz selbst, in die Gestaltung dieses Netzes durch Vorschläge zur praktischen und technischen Optimierung dieser Kommunikationsinfrastruktur einzugreifen.

4 Die Frage

Das ist der Horizont, vor dem wir nun erörtern, ob und in welcher Weise es Sinn macht, bei Leibniz eine über das Netz seiner Korrespondenzen hinausgehende Netzwerkidee ‚avant la lettre‘ am Werk zu sehen. Unsere Antwort birgt zwei Facetten. Leibniz favorisiert mit der Idee netzförmiger Organisation eine Ordnungsform, welche die optimale Lösung eines seiner philosophischen Grundprobleme nahelegt: Wie kann der ontologische Individualismus, demgemäß die Grundelemente der Welt aus Individuen bestehen, mit dem realen Verbundensein von allem mit allem zusammen gedacht werden? Genauer: Wie können Individuen in einem Verbund *ohne* Preisgabe ihrer Individualität zusammenwirken? Wie können Vielheit und Einheit nicht nur koexistieren, sondern sich wechselseitig konstituieren?

Das Moderne seiner Antwort besteht – so unsere Hypothese – darin, dass er diese Verbindung nach Art eines Netzes visioniert, dessen Spezifik es ist, einen *sich selbst organisierenden* Zusammenhang von individuellen Elementen zu bilden. Zusammenhänge in Gestalt selbstorga-

nisierender bzw. selbstregelnder Verbindungen zu begreifen, findet sich in seinen Überlegungen zu ökologischen und technischen Wechselwirkungen im Harzer Bergwerksbau ebenso wie in seinen enzyklopädischen Ansätzen zur Wissensrepräsentation, die zugleich als Instrument der Generierung neuen Wissens entworfen werden; sie finden sich im metaphysischen System der Monadenlehre und in den wissenschaftspolitischen Impulsen zur Gründung wissenschaftlicher Akademien.

Doch es gibt noch eine zweite Facette, warum es sinnvoll ist, bei Leibniz eine Favorisierung des Netzförmigen zu diagnostizieren: Die moderne Netzwerkidée ist eng mit dem *digitalen* Zeitalter verbunden, bildet das World Wide Web doch den ‚Archetypus‘ eines dynamischen Netzwerkes. Leibniz ist als Vordenker der Computerisierung mit seinem Studium des dyadischen Zahlensystems sowie seiner 4-Spezies-Rechenmaschine hinreichend bekannt und gewürdigt. Ihn auch als Denker und Praktiker des Netzes – und zwar vor der Karriere des Netzes zum absoluten Begriff (Schüttpelz 2007) – zu konturieren, heißt, diesem Bild visionärer Vorbereitung der Digitalisierung eine noch ungeborgene Facette hinzuzufügen. Dies ist nicht nur affirmativ im Sinne von ‚Leibniz als Vordenker der Digitalisierung‘ gemeint. Denn die Einbeziehung von Leibniz‘ persönlichem Kommunikationsverhalten, geprägt vom tagtäglichen brieflichen Kommunizieren mit Briefpartnern nahezu aller Herkunft und Professionen, wirft auch ein Licht auf die Dilemmata des ‚Verstricktseins in Kommunikationen‘, welche im digitalen Zeitalter zum Alltagsproblem avancieren: Die mit unablässiger Kommunikation einhergehende Zerstreuung und Zersplitterung der Aufmerksamkeit vereitelt ein Stück weit jene ‚tiefe‘ Konzentration, die für das Schreiben großer Werke in Zurückgezogenheit vonnöten ist. Nicht zufällig hat Leibniz uns kein ‚opus magnum‘ hinterlassen, sondern kann durchaus gesagt werden: sein Nachlass bildet sein Hauptwerk!

5 Die Monadologie als selbstorganisierender Verband informationell verbundener Individuen

Den Kern der Leibnizschen Metaphysik bildet die Lehre von der Substanz, die – auf ihrer fortgeschrittenen Stufe – die Form einer Monadenlehre annimmt (Leibniz 1960/61: 607–623). Von Descartes‘ wie auch Spinozas Substanzenkonzeption unterscheidet sich Leibniz durch zwei Merkmale: (i) Monaden sind *Individuen*, so dass es also nicht zwei (Descartes) oder eine (Spinoza), sondern eine *Pluralität* individueller Substanzen gibt, die miteinander einen Verbund bilden. Substanzen existieren nur im Plural. (ii) Die Monaden sind rastlos tätig kraft eines inneren Prinzips, also nicht von außen angestoßen. Diese Aktivität besteht in Perzeptionen, durch welche die Monaden perspektivische Darstellungen des Gesamtsystems der Monaden hervorbringen.

Die Monadologie zu verstehen heißt also, *nicht* von der einzelnen Monade auszugehen, sondern von deren Zusammenhang miteinander. Obwohl die Monaden unverwechselbare Individuen sind, ist ihre Gegebenheitsweise dadurch bestimmt, dass sie nur als Verbund existieren. Dieses Verbundensein wird auf eine Weise konzipiert, die nicht als kausal-materiale, sondern als *informationelle* Verbindung aufzufassen ist. Leibniz Termini hierfür sind: ‚repraesentatio‘, ‚expressio‘, ‚communicatio‘. Alles dies fasst er unter dem Begriff der ‚Perzeption‘ zusammen, der bedeutet: „Ausdruck von Vielem in Einem“ (Leibniz 1978: VI, 608 [Monadologie § 14]). In

ununterbrochener Aktivität⁵ werden Repräsentationen des Universums aus dem je singulären Blickwinkel hervorgebracht, so dass jede Monade ein durch ihren ‚Standort‘ präfiguriertes Bild des Ganzen erzeugt, mithin das Gesamtsystem aller Monaden – perspektivisch geformt und in differierenden Graden zwischen Verworrenheit und Klarheit abgestuft – in ihrem Inneren enthält. Die Singularität der Monade gründet genau darin, dass sie alle anderen Singularitäten als Verbundsystem standortbezogen darstellt.¹⁶ Solche auf Perzeption beruhenden ‚Widerspiegelungen‘ sind möglich, soweit die Monaden mit einem Körper verbunden sind, obwohl die Monaden selbst immateriell, somit *keine* Körper sind. Wir können diesen Aspekt der notwendig anzunehmenden Verbindung der Monaden mit einem Körper hier nicht weiter entfalten.

Worauf es ankommt ist, dass sich im Konzept der Monaden Metaphysik und Logik, Ontologie und Begriffslogik verschränken: Denn der monadischen Immaterialität korrespondiert in der Begriffstheorie von Leibniz, dass jedem Monadenindividuum *ein vollständiger Begriff* entspricht.¹⁷ Vollständige Begriffe sind Subjektbegriffe, die alle Prädikate enthalten, welche ein Subjekt zu einem unverwechselbaren Individuum im Zuge seiner Individualgeschichte machen. Diese Individualgeschichte besteht in der subjektiven Repräsentation der Welt, welche den Nährboden des Monadischen Daseins ausmacht. Monaden stehen also nicht nur zu allen anderen in Relation, sondern *enthalten* diese Relationen als in ihrem Inneren dargestellte Relationen und werden genau dadurch individuiert. „Damit entspricht jeder Monade exakt ein Relationengefüge“ (Lyssy 2009).

Wir können die Feinheiten dieser Metaphysik hier nicht entfalten. Doch vielleicht wird in Umrissen bereits klar, worin das *Netzförmige* des monadischen Zusammenhanges besteht und warum der häufig verwendete Begriff ‚System‘ hier nicht genügt, um diesen Zusammenhang zu explizieren. Die Monaden sind keine – im Prinzip – autarken Bausteine, die als Entitäten *sodann* eine Verbindung zu allen übrigen eingehen, indem sie für das Ganze eine wohlbestimmte Funktion erfüllen. Insofern das Leben der Monaden sich als Repräsentation des Gesamtzusammenhanges aller anderen Monaden aus dem individuellen Gesichtspunkt realisiert, besteht die Existenz der Einzelnen nicht in deren Funktionalität für das System, sondern darin, individueller *Ausdruck*, eine einzigartige *Repräsentation* des Gesamtsystems zu sein. Die Monade wird zum Teil des Monadenverbundes, weil sie in ihrem Inneren den ganzen Verbund als eine informationelle Struktur, als ein Darstellungsobjekt, enthält. Die Monade ist ‚Knoten‘ eines Netzes, weil das, was sie ist, in der kommunikativen Aktivität besteht, bei welcher der Verbund als informationelle Struktur in Gestalt einer individuell präformierten Darstellung erzeugt wird. Die Dynamik, die wir mit dem modernen Netzkonzept verbinden, ist bei Leibniz in die Knoten hinein verlagert: Diese sind nur Bestandteile des Verbundes, weil sie in unablässiger perzeptiver Bewegung begriffen sind. Es geht also nicht um die simple Vorstellung eines Netzes als Struktur einer Verbindung zwischen Elementen. Es gibt nicht einfach *den* Monadenverbund. Vielmehr ist die netzförmige Verbindung der Monaden nichts anderes als der Inbegriff aller individuellen Perspektiven, in denen das Ganze des Universums im Inneren jeder Monade zur Darstellung gelangt. Eben diese Durchstreichung einer simplifizierenden Verbundidee arbeitet Leibnizens Diktum von der ‚Fensterlosigkeit‘ (Leibniz 1978: VI, 608 [Monadologie § 7]) der Monaden zu. Individualität und netzförmiges Verbundensein koexistieren nicht einfach, sondern sind wechselseitig konstitutiv.

6 Vernetzung als Organisationsform von Wissen und Wissenschaft

Das Zeitalter der Aufklärung ist zugleich ein Zeitalter der Enzyklopädien. Einerseits hat die Diversität und Zersplitterung auseinanderstrebender Wissensfelder so zugenommen, dass eine klassifizierende und ordnende Zusammenfassung des Wissens unabdingbar wird. Andererseits erfüllen Enzyklopädien mit ihrer handbuchartigen Kondensierung des Wissens einen Bildungs- und Erziehungsauftrag für die aufkommende bürgerliche Gesellschaft.

Leibniz hat sich zeit seines Lebens mit dem Enzyklopädiegedanken befasst; entsprechende Notizen reichen bis in das Jahr 1670 zurück.¹⁸ Anders als in den Konversationslexika des 18. Jahrhunderts, ging es Leibniz nicht um bloße Sammlung und alphabetische Sortierung von Wissensbeständen. Seine Vision ist vielmehr das Gesamtfeld des Wissens in seinem inneren Zusammenhang so transparent zu machen und aufzeichnen zu können, dass sich aus der methodischen Kombination bereits bestätigter Erkenntnisse neue Erkenntnisse generieren ließen. Die Enzyklopädie ist kein Wissensarchiv; vielmehr sollte durch die Aufdeckung der Verbindungen zwischen Wissensgehalten ein Instrument bzw. ein Verfahren zur Wissens*produktion* entwickelt werden. Dies allerdings geht nur in Verknüpfung mit einer ausgefeilten Zeichenkunst, der *ars characteristica*. Inspiriert von der bis zur Kabbala zurückgehenden Lullistischen Kunst, will Leibniz die barocken Enzyklopädieprojekte von Johann Heinrich Alsted (1588–1638) und Johann Amos Comenius (1592–1670) „auf die wissenschaftliche Höhe der Zeit bringen und vollenden“ (Moll 2002: 7). Doch dies scheint eben nur möglich, indem Leibniz den Enzyklopädiegedanken mit seinen universalsprachlichen und begriffslogischen Projekten einer *ars combinatoria* verbindet, einer *scientia generalis* und eines *calculus ratiocinator*.¹⁹ Die enzyklopädische Reintegration der Wissenschaften wird nur im Zuge der Konstruktion einer Universalwissenschaft gelingen, für deren Verfassung wiederum die Zeichenkunst der Kalkülisierung mit ihrer Rückführung von Wahrheitsbeweisen auf Richtigkeitsnachweise das Modell abgibt.²⁰ Inspiriert ist Leibniz dabei durch die doppelte Funktionalität mathematischer Zeichensprachen, welche sowohl zur Darstellung eines Wissensbereiches, wie auch zum Herstellen von Problemlösungen und Beweisen innerhalb dieses Bereiches dienen (Krämer 1992: 226). Die *Scientia generalis* hat also zugleich Medium zur Repräsentation sowie Instrument zur Operationalisierung von Wissen zu sein. Dies gilt nicht nur für die mathematischen, logischen, im weitesten Sinne: begrifflich orientierten Wissenschaften. Leibniz will auch empirische Erhebungen beispielsweise sozialer Daten über Güterverkehr und Bevölkerungsentwicklung als politisches Handlungswissen oder versicherungs- und finanztechnisch relevante Daten ermitteln und als Steuerungswissen bereitstellen.²¹ Er entwirft ‚Staatstafeln‘, die, in extremer Informationsverdichtung als Tabelle visualisiert, nützliche Daten für das politische Handeln von Regenten bereitstellen sollen.²²

Seit der Promotion über die *Ars Combinatoria* 1666 hat Leibniz lebenslang mit diesem Enzyklopädieprojekt gerungen: Er hat Gedankenalphabete entworfen, deren Kalkülisierung einer Mechanisierung der Wahrheitsfindung zuarbeiten sollten; er hat das für politökonomisches Handeln notwendige Wissen in Form von Tafeln bereitzustellen versucht; er hat die vernetzende Verknüpfung juristischer und medizinischer Daten vorangetrieben; überdies finden sich 70 nahezu fertige Ausarbeitungen zum Enzyklopädiegedanken in seinem Nachlass.²³

Wir sehen also: Leibnizens Projekte zur Datenerhebung sowie zur Reorganisation von Wissen spiegeln in ihrem internen Verbundcharakter wider, was für den externen Zusammenhang der

Dinge ontologisch gilt. Seine schriftlichen, tabellarischen und figürlichen Darstellungen von Wissenszusammenhängen haben die Funktion „[...] daß die Connexion der dinge sich darinn auf einmahl fürstellet“ (Leibniz 1986: 345).

Doch ein veröffentlichtes Werk hinterließ Leibniz dem europäischen Enyklopädismus nicht. Hat dies auch darin seinen Grund, dass Leibniz nur zu gut wusste, dass eine Re-Union disparater Wissensfelder nur die Frucht kollektiver Anstrengung einer *Gruppe* von Wissenschaftlern sein konnte, mithin der Helfer bedurfte – ebenso übrigens wie der Stifter und Förderer? An beidem jedoch hat es ihm gemangelt.

Die Tragik dieses Mangels liegt darin, dass Leibniz zugleich unermüdlich bestrebt war, nach dem Vorbild der englischen und französischen Akademien, Gemeinschaften von Gelehrten zu initiieren, die als wissenschaftliches Netzwerk Gedanken austauschen, Experimente und Erfindungen debattieren und Erfahrungen teilen konnten.²⁴ Das theoretische Enzyklopädieprojekt findet darin sein wissenschaftspraktisches und wissenschaftspolitisches Pendant. 1700 gelang Leibniz die Gründung der ersten das gesamte Fächerspektrum übergreifenden Akademie der Wissenschaften auf deutschem Territorium, der Brandenburgischen Sozietät der Wissenschaften, deren erster Präsident er wird. Zahlreiche erst nach Leibniz gegründete Akademien in Petersburg, Wien, Leipzig und Mainz berufen sich auf ihn als ihren Inspirator. Doch Akademien sind für Leibniz nicht nur Gelehrtenvereine, sondern sind – im besten Falle – mit den praktischen Künsten und den Kunstkammern verknüpft. In der Kunstkammer will Leibniz Objekte der Natur und der Kunst zu theatral inszenierten Ensembles fügen, welche die Grenzen überkommener Klassifizierungen und Ordnungen sprengen und durch ungewöhnliche Zusammenstellung, neue Assoziationen und Einsichten über den Zusammenhang der Dinge hervorgehen lassen.²⁵ In den ‚Theatern der Natur und der Kunst‘ (theatrum naturae, theatrum artis) sollen nicht nur die Grenzen von Kunst und Natur überschritten werden, sondern die einzelnen Objekte zum Inbegriff der Bezüge werden, in denen sie durch ihre Anordnungen zu anderen Objekten gesetzt werden können.

7 *Techniken der Selbstregulation: Die Harzer Bergwerksentwässerung*

Nicht nur in der Metaphysik und nicht nur in den Modellen der Wissens- und der Wissenschaftsorganisation, sondern auch in den technischen Entwürfen zeigt sich eine augenfällige Tendenz, technische Abläufe als eine Art von selbstregulierenden Netzwerken zu konzipieren. Dies sei am Beispiel von Leibnizens Vorschlägen für den Harzer Bergbau erläutert.

Leibniz plant, die Bergwerksentwässerung im Oberharz (1680–1685) zu einem technischen sich selbst regulierenden Verbundsystem auszubauen, das auf dem Zusammenspiel von Wasser- und Windkraft beruht und den Bergbau von Witterungsbedingungen unabhängiger macht.²⁶ Ausgelöst durch eine zwischen 1666 und 1678 anhaltende Trockenzeit, welche die Wasserwirtschaft als notwendige Bedingung des Erzabbaus in Bergwerksstollen im Oberharz nahezu zum Erliegen brachte (Gottschalk 2011: 401), entwickelte Leibniz in Briefen und Denkschriften Vorstellungen über eine Verbesserung dieser für die Bergleute verheerenden Lage. Sein Ansatz ist eine technisch instrumentalisierte Windkraft in Form horizontaler und vertikaler Windapparate (Wakefield 2010), die als alternative Energiequellen mit den Wasserkreisläufen so zusammen-

geschlossen werden, dass – letztendlich – auch der Einsatz von menschlichen und tierischen Ressourcen im Bergbau vermindert werden könne.

Dies setzt allerdings ein Wissen um die meteorologischen Bedingungen voraus und so verknüpft Leibniz seine Bergbaupläne mit dem Vorhaben, ein Wetterbeobachtungsnetz zu installieren, mit dem Wetterbeobachtungen (Luftdruck, Lufttemperatur, Windrichtungen, Regenmengen etc.) systematisch erhoben und aufgezeichnet werden können (Hauf/Venske 2006: 64–67). Dies wiederum setzt die Anfertigung geeigneter Messinstrumente (Barometer, Thermometer etc.) voraus, deretwegen Leibniz Kontakte zu entsprechenden Glasbläsereien aufnimmt (Gottschalk 2011: 401; Burckhardt 1867). Seine Modelle zur Verknüpfung der Wind- und Wasserkünste sind uns als graphische Darstellung und Beschreibung aus dem Nachlass überliefert, und in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts wurden diese als dreidimensionale Miniaturmodelle gebaut (Stein/Heinekamp 1990: 114–122). Verwirklicht wurden seine Pläne allerdings nicht.²⁷ Übrigens plante Leibniz, auch lagerstättenkundliche Sammlungen vom Harz zum Bestandteil seiner Vision einer Kunstkammer zu machen.²⁸

Leibniz reiste zwischen 1680 und 1686 insgesamt 31 Mal in den Harz und verbrachte viele Wochen der Planung und Arbeit dort. Mit der von ihm vorgeschlagenen Horizontalwindkunst sollten Räder der Wasserförderung (Wasserförderschnecke) direkt angetrieben werden. Die realen Erprobungen vor Ort finden allerdings unter unglücklichen Umständen (Wellmer/Gottschalk 2010) statt, die Widerstände der Harzer Bergleute gegenüber Leibnizens Plänen wachsen und 1685 befiehlt Leibnizens Dienstherr Herzog Ernst August die Einstellung aller Versuche und Zahlungen. Das hält Leibniz nicht davon ab, seine bergwerkstechnische Erfindertätigkeit fortzusetzen: Er entwickelt die Idee multifunktionalen Einsatzes von Wasserrädern, die zugleich den Wasserfluss antreiben und zur Förderung des Erzes einsetzbar sind, indem eine eine Kehrradeinrichtung das Zahnradgetriebe umschaltbar macht (Horst 1966: 42). Er entwickelt überdies eine selbstregulierende Bremsvorrichtung für seine Vertikalwindkunst,²⁹ deren diagrammatische Modellierung kybernetische Steuerungsverfahren vorweg zu nehmen scheint.

Doch es geht nicht nur um technische Geräte im engeren Sinne: In einer Denkschrift betont er, wie im Bergwerksbau die Wasser-, Feld und Grubenkünste miteinander zu verbinden seien; er empfiehlt Datensammlungen anzulegen, welche die Topographie des Ortes, den Umfang der Wasserquellen und Holzvorräte nebst ‚Schichtenverzeichnissen‘ und Nachrichten über alte Grubenbauten in Form eines „scenographischen oder perspektivischen abriß des Bergwercks“ sowie Grubentabellen, Wochenzettel und Schichtzettel umfassen. Dass die netzartige Verknüpfung im Realen zugleich der Daten- und Informationsverknüpfungen in einer Organisationsstruktur des Wissens bedarf, welche die vielfältigen Darstellungsformen der Zeichenkunst wie Text, Tabelle, Graph, Diagramm und Modelle inkludiert, ist Leibniz klar. Die Bergbautechnik ist auf ein neuzeitliches Betriebsbüro angewiesen – doch mit diesen Ideen ist Leibniz seiner Zeit hoffnungslos voraus.

8 *Das Netz mit Leibniz denken: Ein Resümee*

Mit den vorstehenden Überlegungen hat sich – wenn auch nur exemplarisch – abgezeichnet, in wie vielen theoretischen und praktischen Hinsichten bei Leibniz implizit Ordnungsformen

wirksam werden, die wir heute mit den Kategorien ‚Netz‘ bzw. ‚Vernetzung‘ beschreiben können. Resümieren wir abschließend, welche Impulse davon für eine *zeitgenössische* Reflexion bzw. Theoretisierung der Netzkategorie ausgehen können. In einer Art von Liste wollen wir diese Impulse zumindest kursorisch andeuten.

- a. *Virtualität*: Insofern es bei Netzen um Relationalität geht, die für Leibniz jedoch ein rein ‚epistemischer Sachverhalt‘ ist, ist das Netzförmige nicht einfach ein in der Welt vorfindlicher realer Gegenstand, sondern eher wie ein ‚virtueller Gegenstand‘ bzw. wie ein auch normativ ausgezeichnetes Strukturmodell zu verstehen, welches dann interessant wird, wenn es um das optimale Zusammenspiel zwischen Einzelnen geht. ‚Netz‘ und ‚Vernetzung‘ sind Beschreibungskategorien, deren Realität zuerst einmal in den Aufzeichnungen und Skizzen besteht.
- b. *Individualität*: Das Netz ist vor allem da anzustreben, wo es um eine Verbindung zwischen Singularitäten geht, welche die Handlungsmöglichkeiten des Singulären optimieren. Eine Form von Gemeinschaftsbildung ist anvisiert, welche Individualität nicht annulliert, vielmehr bewahrt. Gebunden ist das daran, dass die netzartigen Verbindungen als informationelle Verbindungen projiziert werden.³⁰
- c. *Multiplizität*: Die Knoten eines Netzes können als Elemente verschiedenartiger Netze gedeutet werden: Die Monaden sind Elemente eines metaphysischen Verbundes von Substanzen und zugleich als vollständige Begriffe Teile eines logischen Netzes. Netze können sich auch voraussetzen: So, wenn die technische Realisierung eines ökologischen Verbundsystems von Wasser- und Windkraft im Bergbau einerseits ein Wetterbeobachtungsnetz und andererseits eine büromäßige Aufzeichnung und Verwaltung der anfallenden Daten voraussetzt. Oder so, wie ohne ein expandierendes Postnetz das Leibniz’sche Korrespondenzwesen nicht realisierbar wäre.
- d. *Selbstorganisation*: Der Aspekt von Selbstorganisation und Selbststeuerung kommt auf ganz unterschiedliche Weise in den verschiedenen netzförmigen Organisationsformen zur Geltung und bleibt doch ein sich durchhaltender Grundzug, der die Aktivitäten im Monadenverbund ebenso wie das Rückkopplungsprinzip beim Bremsregler im Bergbau bestimmt.

Anmerkungen

1. Unter ‚Netzwerk‘ sei verstanden, wenn „mit und durch Netze etwas getan wird.“ Gießmann 2005: 428.
2. Zur Reflexion: Böhme 2004; Castells 1996; Schüttpelz 2007.
3. S. die Tagung der BBAW: Leibniz – Netzwerk – Digitalisierung am 4./5. Februar 2016 in Berlin.
4. Erst 1750 wurde das Netz als Ordnungsmodell vorgeschlagen von Vitaliano Donati (s. Gießmann 2005: 427).
5. Utermöhlen (1977); Gerber (1966).
6. <http://www.gwlb.de/Leibniz/Leibniz-Nachlass; Zugriff: 6. 7. 2016>.
7. Zum Zusammenhang von Netzwerk und Diagramm: Gießmann (2008).
8. So auch Schüttpelz (2007).
9. Leibniz 1990, 79 f. (= 1978: 401)
10. Zur Leibniz-Korrespondenz: Gerber (1966); Utermöhlen (1975); auch Dülmen (2002).
11. Leibniz an Johann Theodor Jablonski, 19. März 1701 (AA I, 19, N. 268, S. 513).
12. S. dazu die Korrespondenzen von Leibniz mit Betreibern der Post zur Einrichtung/Vermietung eines beweglichen Poststuhls: AA I, 19, N. 143, 147, 149, 157, 194, 304 zit. Heuvel (2009: 31).
13. Die Zeichnungen von Leibniz zur Verbesserung von Radkonstruktionen an Fuhrwerken: Leibniz 1995, Abb. 5–9.
14. Leibniz Schriften abgedruckt in: AA IV 6 N. 26–33; dazu Heuvel (2009: 25–26).

15. Eine Rekonstruktion der Monadologie aus dem Tätigkeitsaspekt: Schneider (1998).
16. Leibniz vermerkt, „daß jede Substanz genau alle anderen durch die Beziehungen, die es in ihr gibt, ausdrückt.“ *Monadologie* § 59.
17. Dazu: Mittelstraß (1970), Di Bella (2005).
18. Leibniz A VI, 2, 394–397, 395. Zur enzyklopädischen Arbeit von Leibniz im Anschluss an die barocken Enzyklopädieprojekte von Alsted und Comenius: Moll (2002). Außerdem: Schepers (1966).
19. Angesichts der Fülle der einschlägigen Texte und Notizen hier exemplarisch: Leibniz 1978 VII, 184–189 (Zur allgemeinen Charakteristik); weitere Texte publiziert in: Leibniz (1903), Leibniz (1966).
20. Krämer (1991: 237); auch: Siegert (2000: 251 ff.; 2003: 171 ff.).
21. Leibniz (1986: 340–349); zu den Staatstafeln: Vogl (2000: 232 sowie 2004: 70) verweist auf die Korrespondenz von technischem Steuerungswissen und politischem Regierungswissen, das sich mit Leibnizens Staatstafeln bereits abzeichnet.
22. Vgl. Siegert (2000, 2003: 156–190); Vogel (2000, 2004); Segelken (2010).
23. Dazu Moll (2002: 27).
24. Zu einer ‚Rekonstruktion der wissenschaftsorganisatorischen Schriften und Bemühungen von Leibniz: Totok (1966).
25. Bredekamp (2004: 23–44) hat Leibniz’ lebenslange Bemühungen um die Inszenierungen von Wissenstheatern und Kunstkammern rekonstruiert.
26. Zur detaillierten Rekonstruktion der Bergbaupläne, Apparateentwürfen und technischen Zeichnungen: Horst (1966).
27. Zu den Gründen des Scheiterns: Horst (1966: 43).
28. AA I,4, Nr. 17, s. 17. Dazu: Bredekamp (2004: 27); Horst (1966: 45).
29. Stein/Heinekamp (1990: 120: Abb. 125; 136: Abb. 150 und 152).
30. Ein modernes Analogon zu diesem konstituierenden Merkmal der Individualität findet sich in zukunftssträchtigen Plattformen des Internet wie ‘Uber’ oder ‘Airbnb’, wo nicht mehr vom Unternehmen Autos oder Wohnungen besessen werden, sondern das Unternehmen darin besteht, individuelle Auto- und Wohnungsbesitzer mit Kunden zu ‚vernetzen‘.

Literatur

- Behringer, Wolfgang (2003). *Im Zeichen des Merkur. Reichspost und Kommunikationsrevolution in der Frühen Neuzeit*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Barkhoff, Jürgen; Böhme, Hartmut; Riou, Jeanne (Hg.) (2004): *Netzwerke. Eine Kulturtechnik der Moderne*. Köln [u. a.]: Böhlau.
- Böhme, Hartmut (2004). „Netzwerke. Zur Theorie und Geschichte einer Konstruktion“. In: *Netzwerke. Eine Kulturtechnik der Moderne*. Hrsg. von Jürgen Barkhoff; Hartmut Böhme; Jeanne Riou. Köln [u. a.]: Böhlau, S. 17–36.
- Bredekamp, Horst (2004). *Die Fenster der Monade. Gottfried Wilhelm Leibniz’ Theater der Natur und Kunst*. Berlin: Akademie Verlag.
- Burckhardt, Fritz (1867). *Die Erfindung des Thermometers und seine Gestaltung im XVII Jahrhundert*. Basel, Georg. Castells, Manuel (1996). *The rise of the network society*. Oxford, Malden, Mass.: Blackwell Publishers.
- Di Bella, Stefano (2005). *The science of the individual. Leibniz’s ontology of individual substance*. Dordrecht: Springer.
- Donati, Vitaliano (1753). *Auszug aus einer Naturgeschichte des Adriatischen Meeres*. Halle.
- van Dülmen, Richard (2002). „Gespräche, Korrespondenzen, Sozietäten. Leibniz’ dialogische Philosophie“. In: *Denkwelten um 1700. Zehn intellektuelle Profile*. Hrsg. von Richard van Dülmen; Sina Rauschenbach. Köln: Böhlau, S. 417–438.
- Gädeke, Nora (2005). „Gottfried Wilhelm Leibniz“. In: *Les grands intermédiaires culturels de la République des Lettres. Études de réseaux de correspondances du XVIIe au XVIIIe siècles*. Hrsg. von Christiane Berkvens-Stevelinck; Hans Bots; Jens Häsel. Paris: H. Champion, S. 257–306.
- Gerber, Georg (1966). „Leibniz und seine Korrespondenz“. In: *Leibniz. Sein Leben – sein Wirken – seine Welt*. Hrsg. von W. Totok und C. Haase. Hannover: Verlag für Literatur und Zeitgeschehen, S. 141–171.
- Gießmann, Sebastian (2005). „Netzwerke als Gegenstand von Medienwissenschaft. Abgrenzungen und Perspektiven“. In: *MEDIENwissenschaft* 4, S. 424–428.

- Gießmann, Sebastian (2008). „Graphen können alles. Visuelle Modellierung und Netzwerktheorie vor 1900“. In: *Visuelle Modelle*. Hrsg. von Ingeborg Reichle, Steffen Siegel und Achim Spelten. Paderborn: Verlag Wilhelm Fink, S. 269–284.
- (2014). *Die Verbundenheit der Dinge. Eine Kulturgeschichte der Netze und Netzwerke*. Berlin: Kulturverlag Kadmos.
- Gierl, Martin (2004). „Korrespondenzen, Disputationen, Zeitschriften. Wissenschaftsorganisation und die Entwicklung der gelehrten Medienrepublik zwischen 1670 und 1730“. In: *Macht des Wissens. Die Entstehung der modernen Wissensgesellschaft*. Hrsg. von Richard van Dülmen und Sina Rauschenbach. Köln/Wien: Böhlau Verlag, S. 417–438.
- Gottschalk, Jürgen (2011). „Leibniz' Scheitern im Oberharzer Bergbau“. In: *Natur und Subjekt*. Hrsg. von Herbert Breger. Hannover, 8. Bd., Teil 1, S. 401–409.
- Hauf, Thomas und Venske, Stephan (2006). „Leibniz' Spuren in der Meteorologie“. In: *Unimagazin Hannover. Zeitschrift der Leibniz Universität Hannover* 3/4, S. 64–67.
- Heuvel, Gerd van der (2009). *Leibniz im Netz. Die frühneuzeitliche Post als Kommunikationsmedium der Gelehrtenrepublik um 1700*. Hameln: Niemeyer (Lesesaal, Heft 32, Hrsg. von der Niedersächsischen Landesbibliothek, S. 3–31).
- Horst, Ulrich (1966). „Leibniz und der Bergbau“. In: *Anschnitt. Zeitschrift für Kunst und Kultur im Bergbau*, 18 (5), S. 36–51.
- Kliege-Biller, Herma (2012). „Neuigkeiten – Netzwerke – Nachlässe. Claude Nicaise und Leibniz“. In: *Komma und Kathedrale. Tradition, Bedeutung und Herausforderung der Leibniz-Edition*. Wencho Li: Akademie Verlag, S. 301–314.
- Krämer, Sybille (1991). *Berechenbare Vernunft. Kalkül und Rationalismus im 17. Jahrhundert*. Berlin, New York: de Gruyter.
- (1992). „Symbolische Erkenntnis bei Leibniz“. In: *Zeitschrift für philosophische Forschung* 46 (2), S. 224–237.
- Künzel, Werner; Bexte, Peter (1990). *Gottfried Wilhelm Leibniz Barock-Projekte. Maschinenwelt und Netzwerk im 17. Jahrhundert*. Berlin: Papyrus Druck.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1966). *Fragmente zur Logik*. Ausgew., übers. und erläutert v. Franz Schmidt, Berlin: Akademie.
- (1903). *Opusculs et fragments inédits de Leibniz*. Hrsg. von Louis Couturat, Paris.
- (1986). „Entwurf gewisser Staats-Tafeln“. In: *Sämtliche Schriften und Briefe*. Vierte Reihe. Bd. 3. Hrsg. von der Akademie der Wissenschaften der DDR, S. 340–349.
- (1986). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Vierte Reihe: Politische Schriften, Bd. 3 (1677–1689), Hrsg. von der Akademie der Wissenschaften der DDR. XXXVIII.
- (1990). „Fünfter Brief an Clarke“. In: *Clarke, Samuel. Der Briefwechsel mit G. W. Leibniz von 1715/1716*. Übers. und erl. von Ed Dellian. Hamburg: Meiner, S. 63–105.
- (AA): *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Preußischen Akademie der Wissenschaften (nunmehr Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, 1923 ff.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm; Gerhardt, Carl Immanuel (Originalausgabe 1890, Nachdruck 1978). *Die philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz*. Nachdruck Hildesheim: G. Olms.
- (1960/61). *Die philosophischen Schriften, Monadologie*. Bd. VI. (1714), Nachdruck Hildesheim.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm; Gerland, E. (1995). *Nachgelassene Schriften physikalischen, mechanischen und technischen Inhalts*. Hildesheim, New York: G. Olms.
- Lyssy, Ansgar (2009). „Monaden als lebendige Spiegel des Universums“. In: *Gottfried Wilhelm Leibniz, Monadologie*. Hubertus Busche. Berlin: Akademie Verlag, S. 145–160.
- Mittelstraß, Jürgen (1970). „Monade und Begriff“. In: *Studia Leibnitiana* 2 (3), S. 171–200.
- Moll, Konrad (2002). „Der Enzyklopädiegedanke bei Comenius und Alsted, seine Übernahme und Umgestaltung bei Leibniz – neue Perspektiven der Leibnizforschung“. In: *Studia Leibnitiana* 34 (1), S. 1–30.
- Schepers, Heinrich (1966). „Leibniz' Arbeiten zu einer Reform der Kategorien“. In: *Zeitschrift für philosophische Forschung* 20, S. 539–567.
- Schneider, Martin (1998). „Denken und Handeln der Monade. Leibniz' Begründung der Subjektivität“. In: *Studia Leibnitiana* 30 (1), S. 68–82.
- Schüttelpelz, Erhard (2007). „Ein absoluter Begriff: Zur Genealogie und Karriere des Netzwerkkonzeptes“. In: *Vernetzte Steuerung. Soziale Prozesse im Zeitalter technischer Netzwerke*. Hrsg. von Stefan Kaufmann. Zürich: Chronos, S. 25–46.
- Segelken, Barbara (2010). *Bilder des Staates. Kammer, Kasten und Tafel als Visualisierungen staatlicher Zusammenhänge*. Berlin: Akademie Verlag.

- Siegert, Bernhard (2000). „Analysis als Staatsmaschine. Die Evidenz der Zeichen und der Ausdruck des Infinitesimalen bei Leibniz“. In: *Das Laokoon-Paradigma. Zeichenregime im 18. Jahrhundert*. Inge Baxmann; Michael Franz; Wolfgang Schäffner. Berlin: Akademie Verlag. S. 246–273.
- (2003). *Passage des Digitalen. Zeichenpraktiken der neuzeitlichen Wissenschaften 1500–1900*. Berlin: Brinkmann & Bose.
- Heinekamp, Albert und Stein, Erwin (Hg.) (1990). *Gottfried Wilhelm Leibniz. Mathematiker, Physiker, Techniker. Das Wirken des großen Philosophen und Universalgelehrten als Mathematiker, Physiker, Techniker*. Hannover: Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Gesellschaft.
- Utermöhlen, Gerda (1977). „Der Briefwechsel des Gottfried Wilhelm Leibniz – die umfangreichste Korrespondenz des 17. Jahrhunderts und der ‚république des lettres‘“. In: *Probleme der Briefedition*. Hrsg. von Wolfgang Frühwald u. a., Bonn, S. 87–104.
- Totok, Wilhelm (1966): „Leibniz als Wissenschaftsorganisator“. In: *Leibniz. Sein Leben – sein Wirken – seine Welt*. Hrsg. von W. Totok; C. Haase. Hannover: Verlag für Literatur und Zeitgeschehen, S. 293–320.
- Vogl, Joseph (2000). „Romantische Ökonomie. Regierung und Regulation um 1800“. In: *Das Laokoon-Paradigma. Zeichenregime im 18. Jahrhundert*. Inge Baxmann; Michael Franz; Wolfgang Schäffner. Berlin: Akademie, S. 227–240.
- (2004). „Regierung und Regelkreis. Historisches Vorspiel“. In: *Cyberspace – Kybernetik*. The Macy-Conferences 1946–1953. Hrsg. von Claus Pias, Bd. 2: Dokumente, Zürich: Diaphanes, S. 67–79.
- Wakefield, Andre (2010). „Leibniz and the Wind Machines“. In: *Osiris* 25 (1), S. 171–188.
- Wenchao Li (Hg.) (2012). *Komma und Kathedrale. Tradition, Bedeutung und Herausforderung der Leibniz-Edition*. Berlin: Akademie Verlag.
- Wellmer, Friedrich W. und Gottschalk, Jürgen (2010). „Leibniz’s Failure in the Upper Harz Silver Mines – new Observations, in particular from climatic perspectives“. In: *Studia Leibnitiana* 42 (2), S. 186–207.

Horst Bredekamp

Kein Geist ohne Körper, kein Körper ohne Geist: Leibniz' begreifendes Sehen und die Sinnlichkeit der *Appetition*

1 *Schriftbild-Analyse*

Als ich vor Jahren im Leibniz-Archiv der Niedersächsischen Landesbibliothek Hannover versuchte, Gottfried Wilhelm Leibniz' Rolle für den Garten von Herrenhausen zu erschließen, fiel mir in einem der schmalen Flure eine kleine, von Friedrich Hülsmann zusammengestellte Ausstellung von Schriftbildern ins Auge. Im Mittelpunkt stand die Reproduktion der am 14. April des Jahres 972 ausgestellten Heiratsurkunde der Kaiserin Theophanu (Abb. 1 links). Das Original der kostbaren, über 800 Jahre im Reichsstift Gandersheim bewahrten Pergamentrolle (Abb. 1 rechts) zeigt im Grundmuster siebeneinhalb Paare roter Medaillons, in denen Greifen und Löwen über Hirschkühen und Löwen stehen (Matthes 1984: 21). Die Zwickel werden durch Ornamente ausgefüllt, während außen eine schmale Zierleiste, die am Kopf zu einem figürlich gestalteten Streifen verbreitert ist, den Rahmen setzt. Über diesem Grund an Bildern und Ornamenten liegt wie schwebend der in Goldtinte geschriebene, schimmernde Urkundentext im Umfang von 62 Zeilen.

Auf einer Kupferplatte sind Teile der Schrift dieser Urkunde herausgenommen und gerahmt; der Ausschnitt hebt die unteren acht Zeilen heraus (Abb. 2). Bislang ist über den Kreis der Bearbeiter hinaus kaum beachtet worden, dass die Herstellung dieser Kupferplatte im Jahre 1716 von Leibniz veranlasst wurde (Oberschelp 2005: 18, 228 f.). Verblüfft nimmt der Betrachter zur Kenntnis, dass dieser das historische Dokument nicht allein kopieren, sondern auf ein Reproduktionsmedium übertragen ließ. Zudem ist erstaunlich, dass er die Spannung zwischen dem kostbaren Bilduntergrund und der Schrift als Produkt eines Zwei-Schichten-Verfahrens erfasste. Er hat die obere Ebene ablösen lassen, um allein die Schrift auf die Kupferplatte übertragen zu können.

Hieraus ist gefolgert worden, dass es Leibniz allein um das in Schrift gefasste historische Ereignis gegangen sei (Waldhoff 2012: 49–117). Sein Verfahren bezeugt jedoch nicht etwa ein alleiniges Interesse für den Gehalt der Schrift, sondern vielmehr ein Verständnis für deren Qualität als Bild. Leibniz hat hier die geometrische Präzision der Schrift hervorgehoben, um diese für Analyse und Vergleich zur Verfügung stellen zu können.

Leibniz' Sensibilität für den Zusammenhang von Schrift und Erscheinung wurde von Jean Mabillon und seinem Forschungszentrum von St. Maur geprägt. Mit Mabillons im Jahre 1681 in Paris erschienenem sechsbändigen Werk *De re diplomatica*, in dem die kunsthistorische Methode des Vergleiches zur Basis einer Stilgeschichte der Schrift gemacht wurde, wurde das gewaltige Forschungsgebiet der Paläographie etabliert (Abb. 3; Bickendorf 1998: 132). In diesen Rahmen fügt sich auch Leibniz' Unternehmen.¹ Er hat eine Reihe weiterer Schriftzeugnisse, so etwa eine



Abbildung 1. Heiratsurkunden der Kaiserin Theophanu, links: Reproduktion, rechts: Original

Urkunde des Kaisers Karls III. aus dem Jahre 887 in Kupfer stechen lassen (Abb. 4). Offenbar sollten die Reproduktionen eine Schulung in Diplomatik und Schriftbildkunde ermöglichen. Würde es gelingen, diese Kupferplatten im Verein mit vergleichbaren Werken zusammenzustellen, wie sie sich etwa heute im Berliner Kupferstichkabinett oder auch im Braunschweiger Landesmuseum befinden, könnte Leibniz' reproduktive Bildkampagne rekonstruiert werden.



Abbildung 2. Kupferplatte mit Eingrabung der Heiratsurkunde der Kaiserin Theophanu (972), Stecher: Nicolaus Seeländer

Parallel zu seinem Ansatz, eine Stilgeschichte der Schrift zu betreiben, hat Leibniz auch die Idee eines umfassenden Bilderatlas ins Auge gefasst. Ein vergleichbarer Plan war durch Amos Comenius' *Orbis sensualium pictus* von 1658 (Comenius 1888; Hornstein 1997; Graczyk 2001: 355–372) wie auch durch die sagenhafte Bildenzyklopädie von Babel bereits angelegt (Bredenkamp 2008: 169–179), aber Leibniz' Begründung entspringt seiner genuinen Überzeugung, dass der Augensinn über zwei unverwechselbare Eigenschaften verfüge, die für die Erkenntnis wie auch die Ausbildung von nicht übertragbarer Qualität sei: die Lebendigkeit des Eindrucks und die spielerische Geschwindigkeit der Erfassung:

Mir kommt aber in den Sinn, dass die gesamte Enzyklopädie durch einen gleichsam universalen Atlas vorzüglich erfasst werden kann. Zuerst nämlich kann fast alles, was gelehrt und unterrichtet werden muss, den Augen unterbreitet werden. (Leibniz seit 1923: VI, 4, A, Nr. 29, S. 86)²

Ein solches Werk, so Leibniz, „kann eine ganze Bibliothek aufwiegen. [...] Summa man könnte eine solche Kollektion wohl eine lebendige Bibliothek nennen“. (Leibniz seit 1923: I, 3, Nr. 17, S. 17) Entscheidend ist, dass Leibniz den spielerischen Charakter des durch Bilder affizierten Denkens hervorhebt:

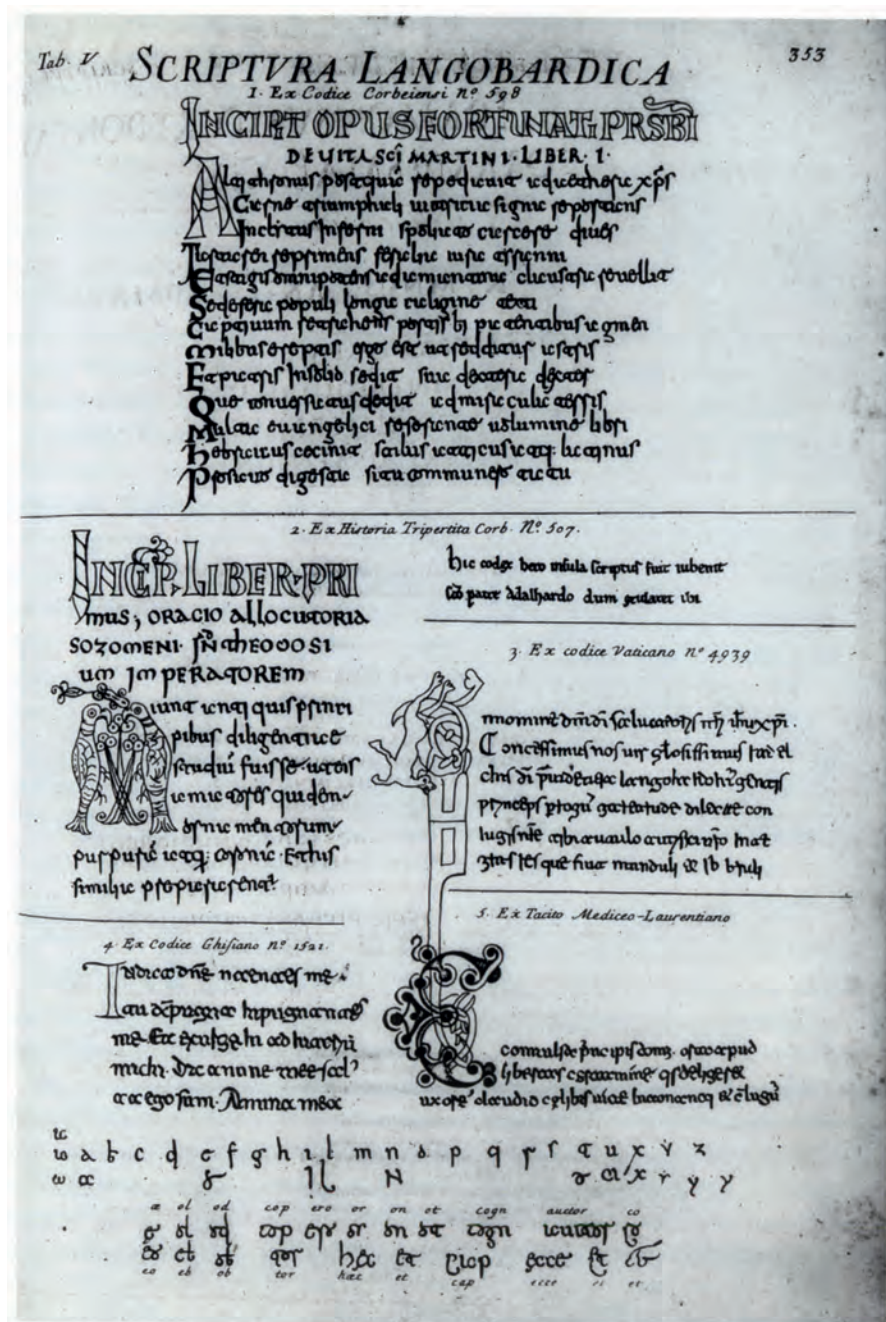


Abbildung 3. Jean Mabillon, De re diplomatica, libri VI., Scriptura Langobardica, Paris 1681, Taf. IV

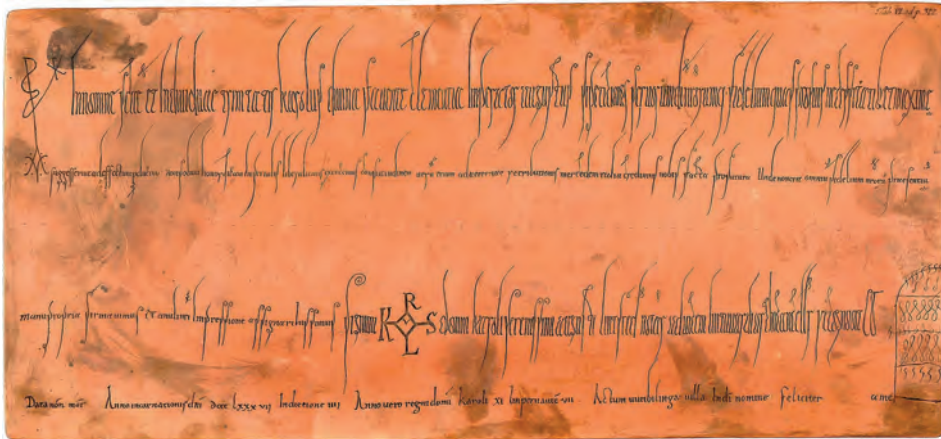


Abbildung 4. Kupferplatte mit Eingrabung der Urkunde Kaiser Karls III. (887), unbekannter Stecher

damit alles so einigermaßen mit den augen gefaßet, und auf dem papier entworfen werden kan, desto geschwinder und anmuthiger und gleichsam spielend und wie in einem blick, ohne umb-schweif der worthe, durch das gesicht dem gemüth vorgebildet und kräftiger eingedrucket werden könne. (Leibniz seit 1923: IV, 3, Nr. 116, S. 785)

Die Schrift als Bild und das Bild als Medium der instantanen Erkenntnis des *Coup d’Oeil*: dies sind erste Zeugnisse von Leibniz’ Einsicht in die Notwendigkeit, das Bildliche als Objekt und Mittel der Erkenntnis einzusetzen.

2 *Monaden und Fenster*

In Verkennung dessen, dass Leibniz’ praktisch angelegte Erkenntnismittel keineswegs einen sekundären Zusatz, sondern vielmehr die primäre Essenz seiner Theoriebildung abgeben, wurden derartige Vorstöße in der philosophischen Näherung an seine Gestalt systematisch ausgeblendet. Es scheint, als solle immer neu Immanuel Kants Urteil bestätigt werden, dass Leibniz von den Phänomenen abgesehen habe, um „alle Dinge bloß durch Begriffe“ miteinander zu vergleichen; die den Sinnen zugängliche Welt sei ihm nur eine „verworrene Vorstellungsart“ gewesen (Kant 1977: 292).

Kants unseliger Fehlschluss ist zwar immer wieder zurückgewiesen worden, zuletzt mit Behutsamkeit und Umsicht von Jürgen Mittelstraß (2011: 1–12), aber er gehört offenkundig zu den bleibenden Barrieren, die einen angemessenen Zugang zu Leibniz’ Philosophie systematisch verbaut haben. Hierzu gehört die Überzeugung, dieser „did not develop any of his ideas through the careful study of nature“ (Mercer 2001: 471). Leicht ist vorzustellen, was Leibniz zu einer solchen Äußerung bekundet hätte, der etwa den Harz nach Fossilien abgesucht und dessen Höhlen, teils auf dem Bauch kriechend, erkundet hat (Leibniz 1749). Eine solche Behauptung ist

nicht weniger bezeichnend als die Bemerkung, dass „Leibniz n’a rien vu“ (nichts gesehen habe) in Rom (Robinet 1986: 2).

Derartige Äußerungen sind verführerisch, weil sie das weitverbreitete Missverständnis von Leibniz Diktum bestätigten: „Die Monaden haben keine Fenster, durch die etwas ein- oder austreten könnte“ (Leibniz 1998: 12–13). Mit diesem Spruch scheint Leibniz der Kronzeuge einer den Phänomenen misstrauenden Philosophie, wie sie im Anschluss an Platons Höhlengleichnis damit begründet wurde, dass diese nur eine fesselnde Scheinwelt repräsentierten, nicht aber die Substanz der Sachen und Ideen selbst (Platon 2005: 554–563).

Dieser körper- und objektabstinenten Deutung ist entgegenzuhalten, dass die vorgebliche Fensterlosigkeit der Monaden eine polemische Spitze gegen ein sensualistisch reduziertes Verständnis der Philosophie von John Locke war, keinesfalls aber die Doktrin der Leibniz eigenen Philosophie (zu diesem Konflikt: Parmentier 2008). Als unteilbare Einheiten der Schöpfung sind Monaden zwar Geistwesen, besitzen aber unabdingbar einen rezeptiv agilen Körper. Dieser begründet den „psychophysischen Expressionismus“ aller stofflichen Substanzen, die nicht nur aufnehmen, sondern auch semantisch ein wechselseitiges Verlangen stimulieren (Abb. 5; Busche 1997: 525–529)³ Die Monaden sind schillernde Wahrnehmungsinstanzen, die sich ihre eigenen Erkenntnismittel schaffen, um die in ihnen zu entfaltenden Erkenntnisse offenzulegen, auszubreiten und mitzuteilen (grundlegend: Busche 1997; Pape 1997).

Edmund Husserl hat angesichts ihrer „phänomenale[n] Doppelheit von Leib und Seele“ daher mit vollem Recht betont: „Aber die Monaden haben Fenster“, (Husserl 1973: 260; Cristin 2000: 211–237) und meinem Versuch der Rekonstruktion von Leibniz’ „Theater der Natur und Kunst“ habe ich mit Blick auf Husserl den Titel gegeben: „Die Fenster der Monade“ (Bredekamp 2004). Aber erst Wolfram Högbe hat den radikalen Schluss gezogen, dass die Monaden nicht etwa keine Fenster *haben*, sondern vielmehr, dass sie Fenster *sind* (Högbe 2013: 10).

3 Zahlen und Augen

Die Gültigkeit dieser Lehre erweist sich in eindrucksvoller Weise auf dem Feld der Zahlen, das zunächst für die gegenteilige Annahme zu sprechen scheint. Leibniz’ Überlegungen zum Dualsystem, das sämtliche Zahlen durch aus zwei Elementen, der Null und der Eins, aufbaut, gehören zu seinen berühmtesten Errungenschaften. Zu Beginn des Jahres 1697 hat Leibniz dem Herzog Rudolph August zu Braunschweig und Lüneburg erläutert, dass die Allmacht der Schöpfung nicht besser als durch den Ursprung der Zahlen von Null zu Eins erläutert werden könne: „daher (habe) ich auf die entworfene Medaille gesetzt: IMAGO CREATIONIS“ (Abb. 6; Leibniz seit 1923: I, 13, Nr. 75, S. 117; Bredekamp 2004: 95–98) Da dieses *Bild* in seiner Schönheit auch die Güte *der Schöpfung* bekunde, müsse man es „mit Augen sehen.“ Denn Zahlen lassen Leibniz zufolge aus sich selbst heraus weder ein System noch eine Folge erkennen, wohingegen die Medaille auf den „innersten Grund und Urstand“ der Zahlen blicken lässt und dadurch eine nicht mehr zu verbessernde, „wunderbar schöne Ordnung und Einstimmung“ zu zeigen vermag (Leibniz seit 1923: I, 13, Nr. 75, S. 117).

Zu dem Titel *imago creationis* und dem dyadischen Regelwerk setzt er ein „den leiblichen Augen angenehm[es]“ Bild (Leibniz seit 1923: I, 13, Nr. 75, S. 119), das über den finsternen Ab-

4 Das künstlerische Erfahrungslicht

Die Tafeln des Rechenexempels der mit den Zahlen 0 und 1 operierenden Dyadik richten sich aus dem Dunkel eines Meeres aus Zahlen auf (Abb. 6). Das Dunkel ist notwendig als Grund und Kontrastmittel.

Zu Leibniz' Jugendzeit wurde eine Drucktechnik entwickelt, die seinem Erkenntnismodell entsprach. Es erscheint ausgeschlossen, dass Leibniz diese nicht gekannt hat, zumal einer ihrer Protagonisten Ruprecht von der Pfalz war, Sohn von Friedrich von Böhmen und der „Winterkönigin“ Amalie Elizabeth und damit eine Gestalt der Zeitgeschichte. Ruprecht lernte die Technik des Mezzotinto von deren Erfinder, Ludwig von Siegen, um sie nach seiner Rückkehr nach England im Jahr zu einer besonders angesehenen Drucktechnik zu machen.

Eines seiner Bildnisse (Abb. 7) zeigt die Eigenart dieses Verfahrens, im Druck die Härte des Kupferstichs zu vermeiden und weiche, schwimmende Übergänge zu schaffen (Griffiths und Gerard 1998: 211 f.). Diese Möglichkeit entstand zunächst dadurch, dass die gesamte Kupferplatte über Wiegemesser und Walzen so feinteilig durchkörnert wurde, dass sie bei Einfärbung gleichmäßig eingedunkelt würde. Die Finesse erlaubte es, die Tiefe der Körnung zu mindern, um ihnen graduell die Möglichkeit zu nehmen, schwarze Farbe zu halten. Im Gegensatz zu den meisten anderen Techniken des Hoch- und Tiefdrucks wurden nicht schwarze Linien auf eine weiße Grundfläche gebracht, sondern Aufhellungen aus einem dunklen Grund herausgeholt. Diese Technik könnte zu jenen praktischen Beispielen gehört haben, die Leibniz' Theorie der Erkenntnis angestoßen oder zumindest plausibilisiert haben.

Den entscheidenden philosophischen Vorstoß hat Leibniz in seinen *Meditationes de Cogitione, Veritate et Ideis* aus dem Jahr 1684 vorgenommen (Leibniz 1985a: 34–37). Er verfolgt hier den Aufstieg der Erkenntnis, der mit der Spaltung von dunkler (obscura) und klarer (clara)

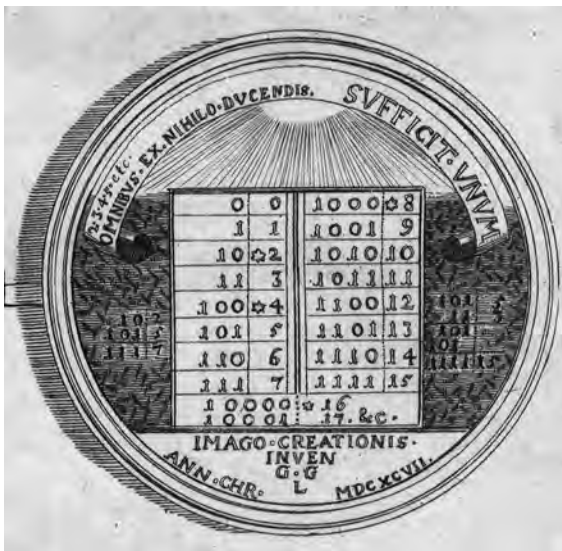


Abbildung 6. Sinnbild der Dyadik, 1734, Kupferstich von Rudolf August Nolte nach einem Entwurf von Gottfried Wilhelm Leibniz

Erkenntnis beginnt (Abb. 8). Auf jeder höheren Stufe ergeben sich neue Spaltungen, so zwischen undeutlich (*confusa*) und deutlich (*distincta*), inadaequat und adaequat, symbolisch und intuitiv (Leibniz seit 1923: VI, 4, A, Nr. 141, S. 587). Hierin könnte das Ende einer Aufstiegsleiter erreicht sein, weil Leibniz mit der symbolischen Form die mathematischen Zeichen anspricht (Leibniz seit 1923: VI, 4, A, Nr. 141, S. 587–588; Leibniz 1985a: 36–37). Aber dem ist nicht so. Was Leibniz später mit Blick auf die Dyadik ausführen wird, spricht er bereits in diesem Zusammenhang an: „Ich pflege diese Erkenntnis blind oder auch symbolisch zu nennen, deren wir uns in der Algebra und Arithmetik, ja sogar fast überall bedienen“ (Leibniz 1985a: 36–37). „Blindheit“ bedeutet hier das Eingeständnis, dass das Zeichen, das keine unmittelbare Präsenz der „Sachen selbst“ intendiert, sein Versprechen eines Erkenntnisgewinns nicht halten kann. Ebenso wie angesichts der widerspruchsfreien Universalsprache stellt sich Leibniz die Frage, ob derlei Zeichen nicht einen Preis für ihre dünnluftige Höhe bezahlen müssen; sie seien in der Gefahr, zu vielfältig, unüberschaubar oder abstrakt zu werden. Dies begründet, warum die Symbole durch die Anschaulichkeit übertagt werden müssen. Aus diesem Grund übersteigt das Bild der Dyadik das Rechnen selbst. In den *Meditationes de Cognitione* setzt Leibniz am selben Punkt der Argumentation jene intuitive Erkenntnis in Kraft, die auf einen Blick alles erfasst (Leibniz seit 1923: VI, 4, A, Nr. 141, S. 588; Leibniz 1985: 36–37).

Das bis heute uneinholbare verkörperungsphilosophische Exempel liegt darin, dass Leibniz mit dem intuitiven Allesblick erneut eine sinnliche Ebene einzieht, die das Aufstiegsdenken in sein Gegenteil verkehrt. In seiner Erläuterung der auf farblichen oder geschmacklichen Sinnesindrücken basierenden Perzeptionsweise hat Leibniz mit der Urteilsfähigkeit von Bildenden Künstlern dieses Gegenmodell präsentiert: „Auf ähnliche Weise sehen wir Maler und andere Künstler angemessen erkennen, was richtig und was fehlerhaft gemacht ist, ohne dass sie oft den Grund ihres Urteils angeben können“ (Leibniz 1985a: 34–35). Leibniz spricht den Künstlern ab, über die geeigneten Begriffe zu verfügen, um ihnen im selben Atemzug aber zu attestieren, angemessen erkennen (*probe cognoscere*) und vor allem urteilen zu können. In der Bildenden Kunst verbindet sich die niederste, materiell gebundene Kenntnisform mit der höchsten, noch

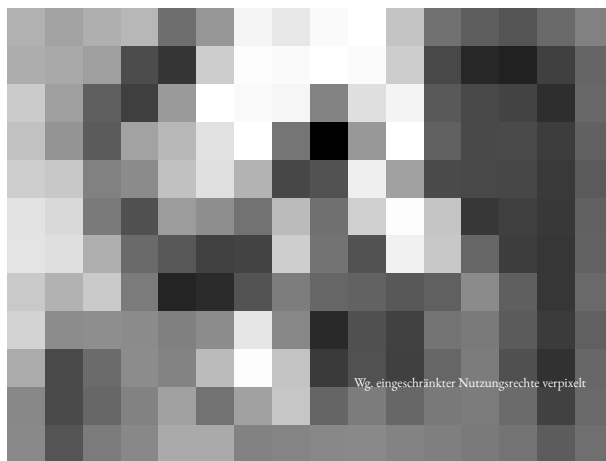


Abbildung 7. Sog. „Kleiner Henker“, 1662, Mezzotinto von Ruprecht von der Pfalz

Wg. eingeschränkter Nutzungsrechte verpixelt

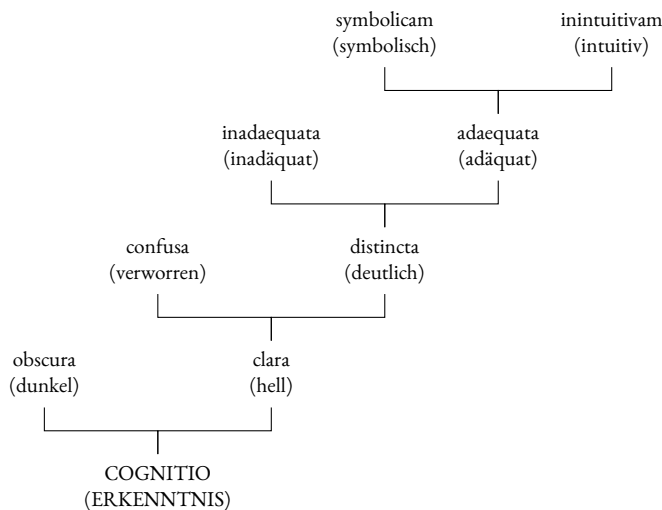


Abbildung 8. Schema der Erkenntnis nach Leibniz' *Meditationes de Cognitione, Veritate et Ideis*, 1684

über der Mathematik stehenden Möglichkeit (Zum Abbilden von Urteilen: Mittelstraß und Schroeder-Heister 1986: 400). Leibniz gesteht dem Künstler die tiefste, verworrenste und zugleich die höchste Erkenntniskraft zu. Wahre Erkenntnis rührt nicht aus der Banalität der klaren Helligkeit, sondern aus dem Reich des Diffusen, das umso stärker wird, je näher der Forscher dem Leben, der Imagination und den Formen kommt, die er im *coup d'oeil* zu überblicken und zu durchdringen versteht (Bredekamp 2004: 109; Peres 2007: 166–188).

5 *Vicos Dunkel und die Geburt der Ästhetik*

Giambattista Vicos *Principj di Scienza Nuova*, die „Neue Wissenschaft“ aus den Jahren 1730 (Abb. 9 links) und 1744 (Abb. 9 rechts) weist in dieselbe Richtung. Beide Ausgaben weisen ein Frontispiz auf, das rechts oben jene Metaphysik zeigt, die als Verkörperung der „Neuen Wissenschaft“ auftritt (Gilbhard 2012: 69 f.; Bredekamp 2015a: 227–239; Bredekamp 2015b: 13–17). Sie erblickt das Licht der göttlichen Vorsehung, aber nicht, um sich in diesem reflexiv zu spiegeln, sondern um den göttlichen Lichtstrahl über ein konkaves Juwel auf ihrer Brust zur Statue des Homer zu lenken. Als Repräsentant der ersten, bildhaften Sprache gibt dieser zugleich das Motto für die Berechtigung, die gesamte Philosophie des Vico in einem Bild zusammenzufassen (Trabant 2010: 182–185; Trabant 2012: 77–92.).

Die Unterschiede zwischen den beiden Fassungen des Frontispizes sind eklatant. Die spätere Version ist heller und aufgeräumter, und die Requisiten des Vordergrunds sind in eine klare Linie gebracht. Natürlich wird bislang in sämtlichen Abhandlungen dieses spätere, die Argumentation Vicos verfälschende Frontispiz abgebildet. In ihrer aufgeräumten Klarheit schwächt diese

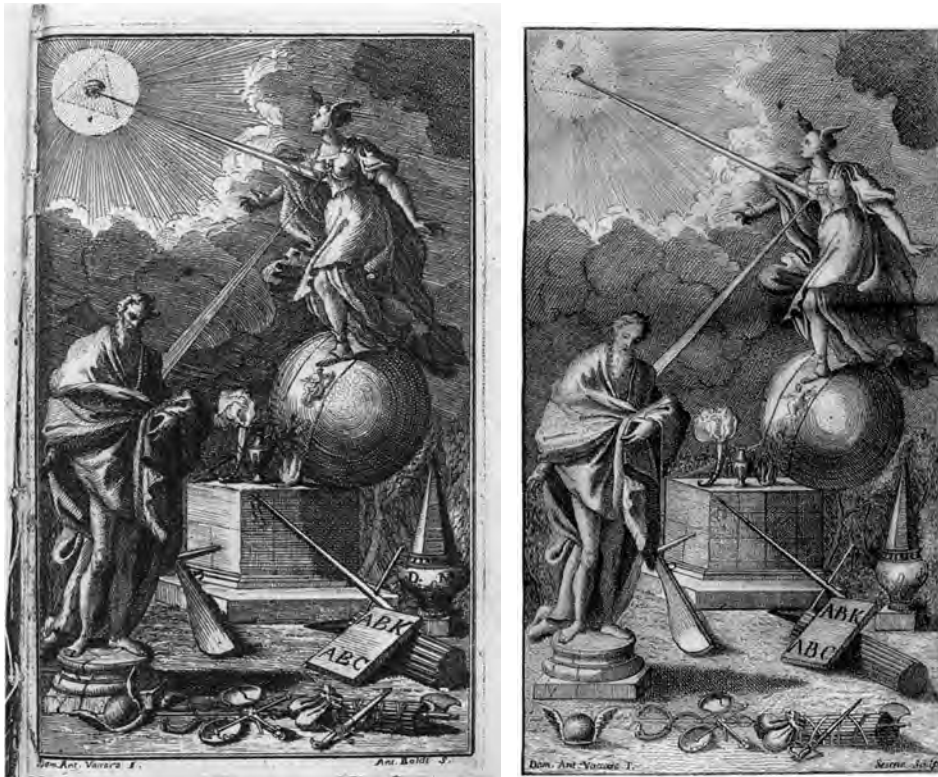


Abbildung 9. Vergleich der Frontispize von Giambattista Vicos *La Scienza Nuova*. Links: Antonio Baldi nach einem Entwurf von Domenico Antonio Vaccaro, Kupferstich, 1730. Rechts: Francesco Sessone, Kupferstich, 1744.

Fassung das Dunkel des Ungewissen, das als Gegenpol vorhanden sein muss, um die Klarheit der Selbsterkenntnis verständlich werden zu lassen.

Vico beschreibt die Finsternis des Himmels als ein Medium der Undeutlichkeit, aus dem heraus die menschliche Wissenschaft die Prinzipien ihrer eigenen Auflösung herauszuziehen habe. Es ist der Stoff, der sich der „Neuen Wissenschaft“ zur Aufhellung darbietet (Vico 2012: 814).⁴ Im Ursprung körperlich, gestisch und zeichenhaft, ist die *Scienza Nuova* der lichtbezogenen Reinheit von René Descartes' *Discours de la méthode* entgegengesetzt (Trabant: 1994: 28; Marienberg 2006). Sie bleibt dem komplexen Dunkel der Wolken verhaftet.

In großartiger Weise hat dies Alexander Gottlieb Baumgarten in seiner 1739 publizierten „Metaphysica“ wie auch in der 1750 erschienenen „Ästhetik“ auf unabhängige Weise entwickelt. Auch Baumgarten nennt nicht die strahlende Helligkeit, sondern das Dunkel als den Grund der Erkenntnis:

Je mehr Merkmale eine Vorstellung umfasst, desto stärker ist sie. Folglich ist eine dunkle Vorstellung, die mehr Merkmale umfasst als eine klare, stärker als diese, eine verworrene, die mehr Merkmale umfasst als eine deutliche, stärker als diese. VORSTELLUNGEN, die mehrere in sich enthalten, heißen

VIELSAGENDE VORSTELLUNGEN. Also sind vielsagende Vorstellungen stärker. (Baumgarten 2011: 274; Baumgarten 2004: 115.)⁵

Hier scheint die Leibniz'sche Definition der Aufklärung auf, die nicht von der Banalität der klaren Helligkeit erfüllt ist, sondern vom Reich des Diffusen, das umso stärker wird, je näher der Forscher dem Leben, der Imagination und den Formen kommt (Leibniz 1985a: 32–47). Die gegenwärtige Kosmologie gibt diesen obskuren Grund in Form der „dunklen Materie“ des Weltraums nicht etwa als erkenntnistheoretische Symbolik, sondern als physikalische Notwendigkeit aus.

Leibniz dagegen treibt die Überzeugung, dass der Mensch umfassend begrifflich zu denken vermag, wenn er sinnliche Wahrnehmungen bezieht, in ein schwerlich überbietbares Extrem. Es liegt darin, dass dem Menschen dieses Vermögen selbst dann noch gegeben ist, wenn er nicht einmal spürt, dass er Empfindungen besitzt. Eines der Beispiele ist das Rauschen des Meeres (Papenberg 2009: 367–381). Obwohl derjenige, der ihm ausgesetzt ist, es nach einer gewissen Zeit wegen der dauernden Wiederkehr nicht mehr hört, vermittelt das rhythmische An- und Abschwellen der Laute die Gesetze von Ebbe und Flut und mit ihnen die Bewegungen des Mondes und über diese Wahrnehmung die Grundregeln jener Gravitation, die den Kosmos in seiner Gänze zusammenhält. Es sind jene Eindrücke, so Leibniz, welche „die umgebenden Körper auf uns machen, und die das Unendliche in sich einschließen, jene Verbindung, die jedes Seiende mit dem ganzen Universum besitzt.“ (Leibniz 1985b: 24–25).

Die kleinen Perzeptionen ermöglichen umfassende Erkenntnisse, ohne dass irgendeine Chance gegeben wäre, den Reflexionsapparat der Begriffe anzuwerfen. Hierin bedeuten beide Erfahrungsformen eine außerordentlich tiefgreifende Theorie der vorbegrifflichen Erkenntnis, und dies markierte zugleich Leibniz' Bruch mit der Philosophie des Descartes. In der *Monadologie* hat Leibniz den Cartesianern als einen unverzeihlichen Fehler vorgehalten, dass sie allein der reflektierten Apperzeption erlaubten, in das Dominium des Bewusstseins aufgenommen zu werden (Leibniz 1998: 16–17). Spätestens seitdem das Unbewusste durch die Psychoanalyse als eine das Bewusstsein bestimmende Größe aufgenommen wurde, ist Leibniz Grundannahme rehabilitiert.

6 Museen und Exponate

Den Gegenpol zu den kleinen Perzeptionen, die über eine unerkannte Körperlichkeit die Begrifflichkeit steuern, bieten die schillernd sichtbaren Exponate von Museen und Privatsammlungen. Zwischen beiden Erfahrungswelten baut sich Leibniz' Reflexionsapparat auf. Auf seinen Reisen hat er kaum eine Gelegenheit ausgelassen, sich mit Sammlungen zu beschäftigen. So hat er im April 1688 auf dem Weg nach Italien der ungewöhnlich reichen und qualitätsvollen Münchner Kunstkammer einen Besuch abgestattet. In Wien folgten dann Besuche der Schatzkammer und der Bibliothek der Wiener Burg, (Müller und Krönert 1969: 90, Ennenbach 1978: 23, 58 f.) in Florenz und Bologna die Sammlung von Antonio Magliabecchi (Leibniz seit 1923: I, 5, Nr. 286, S. 516), Ferdinando Cospi und Luigi Ferdinando Conte de Marsigli (Kenseth 1991: 240 f.). In Rom konnte Leibniz die Kunstkammer des Athanasius Kircher studieren und Antikensammlungen besichtigen (Müller und Krönert 1969: 98).

Die für das Denken unabdingbare Möglichkeit, einen höheren Standpunkt einzunehmen,

verbindet sich bei Leibniz mit dem Willen, jedes Objekt in seiner Individualität zu betrachten und in unmittelbarer Anschauung zum Sprechen zu bringen:

Damit die Imagination oder Phantasie in gutem Zustand erhalten und nicht ausschweifend werde, muss man all seine Einbildung auf einen gewissen Zweck richten und sich bemühen, die Dinge nicht nur obenhin zu bedenken, sondern stückweise zu betrachten, soweit es für unsere Vorhaben vonnöten ist. Zu diesem Zweck ist es überaus gut, viele Sachen zu sehen und, wie die Kunst-, Raritäten- und Anatomiekammern, genau zu betrachten. (Leibniz seit 1923: IV, 3, Nr. 136, S. 898).

Im Sinne dieser Überzeugung projizierte Leibniz Zeit seines Lebens ein *Theater der Natur und Kunst* als Summe von Kunstkammern, Laboratorien und Theatern aufzubauen, die den zu errichtenden Akademien der Wissenschaften ein haptisch-visuelles Rückgrat liefern sollten. Dieses Vorhaben spielte auch eine Rolle bei Leibniz' letzter Begegnung mit Zar Peter dem Großen im Todesjahr 1716. Diesem Treffen in Hannover-Herrenhausen mit seinem Schloss und dem riesigen geometrischen Garten kam eine besondere Bedeutung zu (Abb. 10; Guerrier 1873: 174).

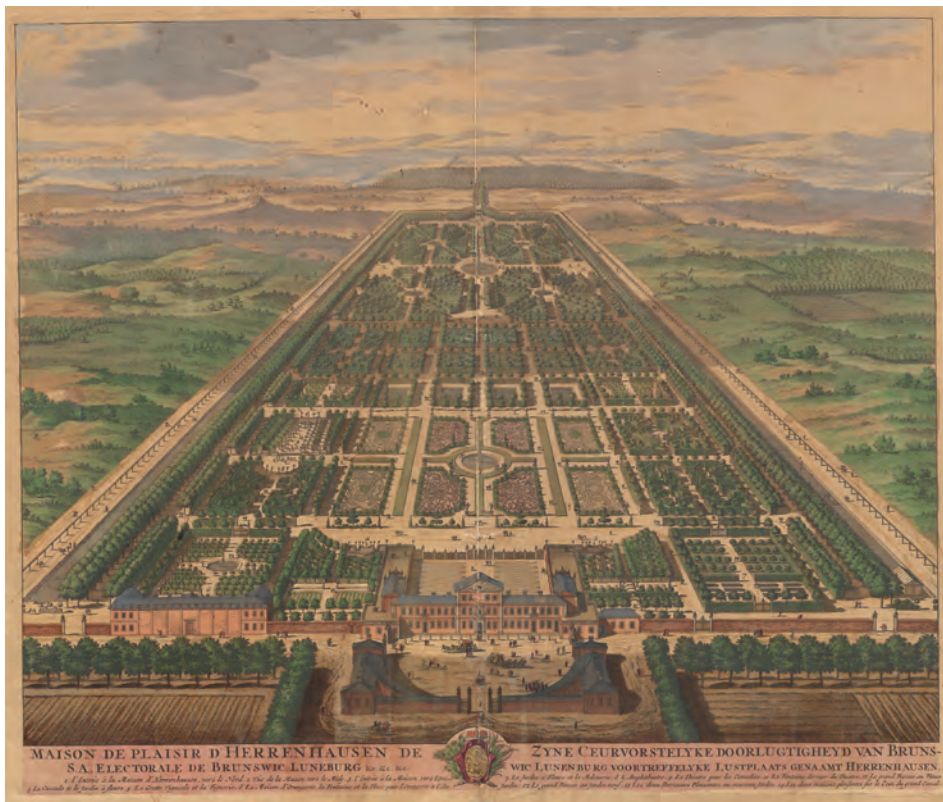


Abbildung 10. Maison de Plaisir d'Herrenhausen de S. A. Electorale de Brunswic Luneburg, Vogelsicht auf den Großen Garten von Herrenhausen aus nördlicher Richtung, um 1708, kolorierter Kupferstich



Abbildung 11. Gebäude der Kunstkammer in St. Petersburg, eröffnet 1730

Bei Gelegenheit des Treffens in Herrenhausen hat Leibniz sein Konzept eines *Theaters der Natur und Kunst* nochmals vor dem Zaren entwickelt (Guerrier 1873: 351).

In St. Petersburg ist Leibniz' Idee im Jahr 1730 postum verwirklicht worden: In Form der riesigen Kunstkammer, die der Akademie der Wissenschaften angeschlossen war (Abb. 11); Leonhard Euler wird hier später seinen Dienstsitz haben. Im Petersburger „Theater der Natur und Kunst“ ist Leibniz' Lebensthema greifbar, das er von seinen ersten Entwürfen einer Neukonstitution von Gesellschaft durch Förderung von Wissen und Forschung im Jahr 1671 bis in sein letztes Lebensjahr 1716 zäh und unbeirrt von allen Hindernissen und Rückschlägen wie kein anderes Konzept verfolgt hat. Dieses Ensemble hebt alle Denkverbote auf, die mit Leibniz verbunden worden sind, seitdem Kant seine Fehldeutung von Leibniz in die Welt setzte. Die Pläne zur Gründung der Berliner Akademie der Wissenschaften sind ein einzige Widerlegung von Kants Bewertung. Leibniz richtete seinen so präzisen wie begehrlischen Blick auf das Berliner Schloss (Abb. 12) mit dessen Brandenburgischer Kunstkammer:

Zu allen diesen Wissenschaften dienen Bibliotheken, Bildersammlungen [...], Kunst- und Raritätenkammern, Zeug- und Rüsthäuser, Gärten vieler Art, auch Tiergehege und die großen Werke der Natur und Kunst selbst, von welchen allen, zum *Theatro Naturae et Artis*, es bei Kurfürstlicher Durchlaucht nicht mangelt. (Brather 1993: 77).

Diese Idee befindet sich gegenwärtig in der Planung und Umsetzung. Wenn es gelingt, im Humboldt Forum Leibniz' Verbindung von Anschauung und Kalkül zum Ort eines beständigen Gedankenlabors zu machen, könnte das Berliner Schloss zu einem Vermittlungsraum einer neuen



Abbildung 12. Detail aus Robert Geissler, Vogelsicht auf die Innenstadt Berlins mit dem Schloss, 1868

Aufklärung werden. Das klingt möglicherweise zu schön, um wahr werden zu können, doch es lohnt, diesen Anspruch zu formulieren.

Die angesprochenen Beispiele verdeutlichen die elementare Rolle des begreifenden Sehens: vom Konzept einer Stilgeschichte der Schrift zum Plan einer Bildenzyklopädie und über die Notwendigkeit der Mathematik als Schau bis zur hin zur Kostbarkeit des musealen Objekts als Bändiger und Anreger der Erkenntniskraft.

7 Theorie mit Praxis

Für Leibniz ist es die *Appetition*, die den Monaden einen Trieb, eine Sehnsucht eingibt und die für die unablässige Bewegung im Kosmos verantwortlich ist (Leibniz 1998: 16–17, Bredekamp 2012: 88–89).⁶ Aus diesem Grund ist die Welt sichtbar, und daher stehen Dunkelheit und Visualität in einem Spannungsverhältnis zueinander. In der Sichtbarkeit wird das Sehnen deutlich, das alle Natur durchzieht, und das Dunkel ist nötig, um die Möglichkeit des Sehens zur Substanzadäquanz der Monaden werden zu lassen.

Hierin ist Leibniz erneut aktuell. Fast erscheint es hoffnungslos, die festgezurrtten Denkrahmen, in denen Leibniz als Verfechter eines unsinnlichen Weltverständnisses betrachtet wird, lösen zu wollen. Der gegenwärtigen Verkörperungsphilosophie könnte jedoch zuzutrauen sein, in diesem Sinn zu wirken, wenn sie sich selbst gestattet, ihre historischen Vorläufer anzuerkennen

und einzubinden (Fingerhut et al. 2014). Am Anfang dieser Entwicklung steht jene Theorie des Körperschemas, mittels derer John Michael Krois eine eigene Variante der Verkörperungsphilosophie begründet hat (Krois 2001). Aus ihr ist nicht nur eine *bildaktive* Spielart der Lehre des *extended mind*, also der außerhalb des Körpers agierenden Denk- und Bewusstwerdungsorgane, hervorgegangen (Bredekamp 2010), sondern auch die von Jürgen Trabant und Mitstreitern verfolgte Theorie der *symbolischen Artikulation*. Hierin liegt der Kern einer neuen Kulturtheorie, die im geschaffenen und geformten Gegenüber des Menschen nicht einen Ausdruck und eine Re-Präsentation, sondern eine Stimulanz und eine autonome Präsenz erkennt (Engel und Marienberg 2015). Dies traf auf das Unverständnis großer Bereiche des philosophischen und kunsthistorischen *Juste Milieu*. In dieser Abwehr äußert sich möglicherweise die Angst vor dem kaum Kontrollierbaren, dem individuell Eigenen, Anarchischen und Erhabenen, und die Angst vor einem Leibniz, dessen entsinnlichende Entschärfung im Gegenzug immer neue, herausfordernde Aktualitätsschübe seines Denkens hervorbringt.

Leibniz kann als Vorreiter einer Verbindung von analytischer, verkörperungsphilosophischer, objektfixierter und bildbezogener Bewusstseinstheorie gelten: *Theoria cum Praxi*, um seinen sprichwörtlich bekannten Spruch zu zitieren. Dieser wird ebenso oft aufgerufen wie missverstanden. Die Fehldeutung liegt im *cum*, dem „mit“: „Theorie *mit* Praxis“. So gut wie durchweg wird das *cum* mit *et* verwechselt: „Theorie *und* Praxis“. Damit aber stehen sich Theorie und Praxis gleichwertig gegenüber, so dass je nach Sichtweise der Interpret die eine oder die andere Seite favorisieren und bedienen kann: der Leibniz der Monadologie oder der Leibniz des Bergbaus. Es heisst aber eben nicht: Theorie *und* Praxis, sondern Theorie *mit* Praxis, und damit wird die Praxis nicht zum gleichwertigen Zuwachs, sondern zur konstitutiven Bestimmungsgröße der Theorie.

Leibniz war bekanntlich alles: Mathematiker, Historiker, Geologe, Techniker, Sprachforscher, Ikonologe und Philosoph, um nur wenige seiner Interessenfelder aufzuführen, in denen er die Spitze der Forschung einnahm. Eingangs habe ich angedeutet, dass er auch als ein Begründer der Formanalyse von Schrift gelten kann, und zahlreiche weitere Felder wären anzuführen. Wichtiger als die additive Hinzufügung weiterer Bereiche aber ist seine Multiperspektivität, die sich aus dem Zusammenspiel von Monaden als Geistsubstanzen ergibt, die nicht ohne Körper existieren können. Leibniz' Zusammenspiel von Geist und Verkörperung ist in der Lage, die Verkürzungen der modernen Weltsicht zu überwinden.⁷

Anmerkungen

1. Vgl. Die Nachbildungen aus Werken von Mabillon: Oberschelp, 2005, Kat. 138–142, S. 159 f.
2. Übersetzung aus dem lateinischen Wortlaut vom Autor.
3. Eine frühe, seither vergessene Begründung entwickelt Feilchenfeld (1923: 323–334).
4. In der Fassung von 1744: „LE TENEBRE NEL FONDO DELLA DIPINTURA sono la *materia di questa Scienza incerta, informe, oscura*.“
5. „Quo plures notas perceptio complectitur, hoc est fortior. Hinc obscura perceptio ddf notas comprehendens, quam clara, est eadem fortior, confusa plures notas comprehendens, quam distincta, est eadem fortior. PERCEPTIONES plures in se continentes PRAEKNANTES vocantur. Ergo perceptions praegnantiores sunt. Hinc ideae habent magnum robur.“

6. Hier klingt das alles Movens auslösende *Clinamen* des Lukrez an, den Leibniz im Übrigen abgelehnt hat.
7. So ansprechend der fundamentale Vorstoß ist, den Hubert Dreyfus und Charles Taylor im Sinne einer solchen Revision unternommen haben, so bezeichnend wie erschütternd ist die Absenz von Leibniz (Die Wiedergewinnung des Realismus [Übers.: Joachim Schulte]), Berlin 2016.

Abbildungsnachweise

- Abb. 1: (links) Niedersächsisches Landesarchiv – Standort Wolfenbüttel, 6 Urk II., (rechts) gemeinfrei
 Abb. 2: Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek – Niedersächsische Landesbibliothek: cup. 5016
 Abb. 3: Bayerische Staatsbibliothek München, 2 Graph. 17, S. 353
 Abb. 4: Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek – Niedersächsische Landesbibliothek: cup. 5024
 Abb. 5: Hubertus Busche: *Leibniz' Weg ins perspektivische Universum. Eine Harmonie im Zeitalter der Berechnung.* Hamburg 1997, S. 59
 Abb. 6: Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek – Niedersächsische Landesbibliothek: Lebn. 65 Titelblatt
 Abb. 7: bpk/Kupferstichkabinett, Staatliche Museen zu Berlin/Volker-H. Schneider
 Abb. 9: Entnommen aus: Bredekamp (2015). Il Frontispizio della Scienza Nuova. In: Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, Anno CDXII 2015, Classe die Scienze Morali, Storiche e Filologiche. Rendiconti 10.26, S. 228–229, Abb. 1 und 2
 Abb. 10: Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek – Niedersächsische Landesbibliothek: LH XXIII, 735, Bl. 13v
 Abb. 11: Flickr/Jorge Láscar, <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>
 Abb. 12: Staatsbibliothek zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz

Literatur

- Baumgarten, Alexander Gottlieb (2004). *Metaphysik*. Übers. von Georg Friedrich Meier. Nach der zweiten Ausgabe, 1783.
 — (2011). *Metaphysica. Metaphysik. Historisch-kritische Ausgabe*. Übers. und Hrsg. von Günter Gawlik und Lothar Keimendahl. Stuttgart Bad-Cannstatt: frommann-holzboog.
 Bickendorf, Gabriele (1998). *Die Historisierung der italienischen Kunstbetrachtung im 17. und 18. Jahrhundert*. Berlin: Gebr. Mann Verlag
 Brather, Hans-Stephan (1993). *Leibniz und seine Akademie. Ausgewählte Quellen zur Geschichte der Berliner Sozietät der Wissenschaften 1697–1716*. Berlin: Akademie Verlag.
 Busche, Hubertus (1997). *Leibniz' Weg ins perpektivische Universum. Eine Harmonie im Zeitalter der Berechnung*. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
 Bredekamp, Horst (2004). *Die Fenster der Monade. Gottfried Wilhelm Leibniz' Theater der Natur und Kunst*. Berlin: Akademie Verlag.
 — (2008). „Babylon als Ansporn: Semiramis' Enzyklopädie der Bilder“. In: *Babylon. Mythos*. Hrsg. von Moritz Wullen und Günther Schauer. Berlin: Hirmer Verlag, S. 169–179.
 — (2010). *Theorie des Bildakts. Frankfurter Adorno-Vorlesungen 2007*. Berlin: Suhrkamp.
 — (2012). *Leibniz und die Revolution der Gartenkunst. Herrenhausen, Versailles und die Philosophie der Blätter*. Berlin: Wagenbach.
 — (2015). „Il Frontispizio della Scienza Nuova“. In: *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, Anno CDXII–2015, Classe die Scienze Morali, Storiche e Filologiche. Rendiconti* 10.26, S. 227–239.
 — (2015). „Vorwort zur Neufassung“. In: *Der Bildakt. Frankfurter Adorno-Vorlesungen 2007*. Berlin: Suhrkamp, S. 9–19.
 Christin, Renato (2000). „Monadologische Phänomenologie – Wege zu einem neuen Paradigma?“. In: *Phänomenologie und Leibniz*. Hrsg. von Renato Christin und Kiyoshi Sakai. München: Franz Steiner Verlag
 Comenius, Johann Amos (1888). *Schola ludus, d. i. Die Schule als Spiel*. Übers. Von Wilhelm Böttcher. Langensalza: Hermann Beyer & Söhne.
 Engel, Franz und Marienberg, Sabine (2015). *Das Entgegenkommende Denken. Verstehen zwischen Form und Empfindung*. Berlin: Walter de Gruyter.

- Ennenbach, Wilhelm (1978). „Gottfried Wilhelm Leibniz‘ Beziehungen zu Museen und Sammlungen“. In: *Beiträge zu: Leibniz geowissenschaftliche Sammlungen*. Hrsg. vom Institut für Museumswesen, S. 1–63.
- Feilchenfeld, Walter (1923). „Leibniz und Henry More. Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Monadologie“. In: *Kant-Studien* Bd. 28, S. 323–334.
- Fingerhut, Joerg, Hufendiek, Rebekka und Wild, Markus (2013). *Philosophie der Verkörperung. Grundlagentexte zu einer aktuellen Debatte*. Berlin: Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft.
- Gilbhard, Thomas (2012). *Vicos Denkbild. Studien zur Dipintura der Scienza Nuova und der Lehre vom Ingenium*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Graczyk, Annette (2001). „Repräsentation und Performanz in der Bildenzyklopädie des Orbis sensualim pictus von Jan Amos Comenius“. In: *Theatralität und die Krisen der Repräsentation*. Hrsg. von Erika Fischer-Lichte. Stuttgart: J. B. Metzler, S. 355–372.
- Griffiths, Antony (1998). *The Print in Stuart Britain 1603–1689*. London: British Museum Press.
- Guerrier, Woldemar (1873). *Leibniz in seinen Beziehungen zu Russland und Peter dem Großen*. Leipzig: Gerstenberg.
- Hogrebe, Wolfram (2013). *Der implizite Mensch*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Hornstein, Herbert (1997). *Die Dinge sehen, wie sie aus sich selber sind. Überlegungen zum Orbis pictus des Comenius*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Husserl, Edmund (2000). „Zur Phänomenologie der Intersubjektivität. Texte aus dem Nachlass“. In: *Husserliana. Gesammelte Werke. Bd. XIV, 2*. Hrsg. von Iso Kern. Den Haag: Martinus Nijhoff.
- Kant, Immanuel (1977). *Kritik der reinen Vernunft 1. Werkausgabe Band III*. Hrsg. von Wilhelm Weischedel. Frankfurt am Main: Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft.
- Kenseth, Joy (1991). *The Age of the Marvellous*. Ausstellungskatalog. Hannover, N.H.: Hood Museum of Art, Dartmouth College.
- Krois, John M. (2011). *Körperbilder und Bildschemata: Aufsätze zur Verkörperungstheorie ikonischer Formen*. Berlin: Akademie Verlag.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1749). *Protogaea sive de prima facie telluris et antiquissimae historiae vestigiis in ipsis naturae monumentis dissertatio ex Schedis manuscriptis*. Hrsg. von Christian Ludwig Scheid. Göttingen.
- (seit 1923). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Berlin/Boston: Walter de Gruyter. (Die Reihe wird römisch, der betreffende Band arabisch gezählt.)
- (1985). „Meditationes de Cognitione, Veritate et Ideis/Betrachtungen über die Erkenntnis, die Wahrheit und die Ideen“. In: *Opusculae Metaphysicae. Kleine Schriften zur Metaphysik. Philosophische Schriften Bd. I*. Hrsg. von Hans Heinz Holz. Darmstadt: Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft.
- (1985). „Nouveaux Essais sur l'Entendement Humain. Neue Abhandlungen über den menschlichen Verstand“. In: *Philosophische Schriften Bd. III, 2 Bde., Bd. 1*. Hrsg. von Wolf von Engelhardt und Hans Heinz Holz. Darmstadt: Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft.
- (1998). *Monadologie*. Französisch/Deutsch. Hrsg. von Hartmut Hecht. Stuttgart: Reclam.
- Marienberg, Sabine (2006). *Zeichenhandeln. Sprachdenken bei Giambattista Vico und Johann Georg Hamann*. Tübingen: Gunter Narr.
- Matthes, Dieter (1984). *Die Heiratsurkunde der Kaiserin Theophanu – 972 April 14*. Wolfenbüttel: Niedersächsisches Staatsarchiv.
- Mercer, Christia (2001). *Leibniz's Metaphysics. Its Origin and Development*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mittelstraß, Jürgen (2011). *Leibniz und Kant. Erkenntnistheoretische Studien*. Berlin/Boston: Walter de Gruyter.
- Mittelstraß, Jürgen und Schroeder-Heister, Peter (1986). „Zeichen, Kalkül, Wahrscheinlichkeit. Elemente einer Mathesis universalis bei Leibniz“. In: *Pragmatik. Handbuch pragmatischen Denkens*. Hrsg. von Herbert Stachowiak. Hamburg: Meiner, S. 392–414.
- Müller, Kurt und Krönert, Gisela (1969). *Leben und Werk von Gottfried Wilhelm Leibniz. Eine Chronik*. Frankfurt am Main: Klostermann.
- Papenberg, Jens Gerrit (2009). „Hörgeräte. Zur Psychomathematik des akroamatischen Leibniz“. In: *Zeitkritische Medien*. Hrsg. von Axel Volmar. Berlin: Kadmos, S. 367–381.
- Pape, Helmut (1997). *Die Unsichtbarkeit der Welt. Eine visuelle Kritik neuzeitlicher Ontologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Parmentier, Marc (2008). *Leibniz-Locke: une intrigue philosophique. Les Nouveaux Essais sur l'entendement humain*. Paris: Presses universitaires Paris Sorbonne.

- Peres, Constanze (2007). „Leibniz‘ Konzeption von Kontinuität und Ganzheit und ihre Konsequenzen für die philosophische Ästhetik Baumgartens und der Gegenwart“. In: *Leibniz, die Künste und die Musik: ihre Geschichte, Theorie und Wissenschaft*. Hrsg. von Sander Wilkens. München: Katzschler, S. 166–188.
- Platon (2005). „Politeia/Der Staat. Band 4“. In: *Werke in acht Bänden. Griechisch und Deutsch*. Hrsg. von Gunther Eigler. Darmstadt: WPG.
- Oberschelp, Reinhard (2005). *Kupferstichplatten in der Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek*. Hamel: Niemeyer.
- Robinet, André (1986). *G. W. Leibniz Iter Italicum (Mars 1689 – Mars 1690). La dynamique de la République des Lettres. Nombreux textes inédits*. Florenz: Olschki.
- Trabant, Jürgen (1994). *Neue Wissenschaft von alten Zeichen: Vicos Semantologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft.
- (2010). „coltura – mondo civile – scienza nuova. Oder: Was für eine Kultur-Wissenschaft ist Vicos Neue Wissenschaft?“. In: *Zeitschrift für Kulturphilosophie*, Bd. 4, S. 179–193.
- (2015). „Nacquero esse Gemelle. Über die Zwillingsgeburt von Bild und Sprache“. In: *Et in imagine ego. Facetten von Bildakt und Verkörperung. Festgabe für Horst Bredekamp*. Hrsg. von Ulrike Feist und Markus Rath. Berlin: Akademie Verlag, S. 77–92.
- Waldhoff, Stephan (2012). „Medaillen, Sigilla und andere monumenta. Leibniz als Sammler und Interpret von Sach- und Bildquellen“. In: *Leibniz als Sammler und Herausgeber historischer Quellen*. Hrsg. von Nora Gädeke. Wiesbaden: Harrasowitz.
- Vico, Giambattista (2012). *La Scienza Nuova. Le Tre Edizioni del 1725, 1730 e 1744*. Hrsg. von Manuela Sanna und Vincenzo Vitiello. Mailand: Bompiani.

Teil II

Mathematik

Einleitung

Mathematik ist, wie wir alle wissen, viel mehr als nur Rechnen – aber die Theorie des Rechnens und die Praxis des Rechnens sind beide integrale und wichtige Teile der Mathematik. Leibniz hat sich einerseits intensiv der Praxis des Rechnens gewidmet, und sein Entwurf für eine Vier-Spezies-Rechenmaschine (nie stabil realisiert) gilt als wichtiger Meilenstein der Rechen-technik. Das Rechnen im Binärsystem, ebenfalls von Leibniz entwickelt und studiert, markiert ein weiteres Sprungbrett, das direkt vom siebzehnten Jahrhundert ins zwanzigste katapultiert. Inzwischen, mehr als dreihundert Jahre später, sind wir in der Praxis des Rechnens natürlich sehr viel weiter – nach weiteren Meilensteinen, wie dem (elektronischen, frei-programmierbaren, binären) Computer Z3, den Konrad Zuse im Mai 1941 in Berlin präsentiert hat, und dem Quantencomputer, der bisher nur als theoretisches Konstrukt und in kleinen instabilen Modellen existiert, aber der, wenn er erst einmal in vollem Umfang realisiert ist und stabil läuft, die Grenzen des Berechenbaren fundamental verschieben wird.

Zur Theorie des Rechnens kommt schon bei Leibniz die Theorie des Berechenbaren – mit großem, bemerkenswertem Optimismus. Fast alles ist berechenbar, von den Bahnen der Gestirne bis zu Gerichtsurteilen? Von Volumina bis Versicherungen? Und auch die Sprache? Nach den Unschärfeprinzipien der Heisenberg'schen Quantenmechanik und den Unentscheidbarkeits- und Unberechenbarkeitstheoremen von Gödel und Turing konnte man Leibniz da für naiv und lange überholt halten: die Theorie des Nicht-Berechenbaren ist, oder genauer gesagt war, ein Triumph des zwanzigsten Jahrhunderts. Aber was davon hat im einundzwanzigsten Jahrhundert noch Bestand? Auf den Supercomputern in den Datenzentren von *Amazon*, *Google*, *facebook* und *NSA* wird auf praktisch unvorstellbaren Datenmengen effektiv gerechnet, mit mathematischen Methoden, deren Urheber wir kaum noch benennen können. Wir dürfen aber annehmen, dass die Mathematikerinnen und Mathematiker der Internetriesen die gewaltigen Methoden-vorräte der Mathematikgeschichte im Werkzeugkoffer haben, die Infinitesimalrechnung von Leibniz und/oder Newton, die Zahlentheorie von Fermat, Euler, Gauß und Dirichlet, die Algebra von Galois, Hilbert, Steinitz und Noether – und noch viel mehr. All das, kombiniert mit viel Numerik, Statistik und Machine Learning, ermöglicht das effektive Rechnen auf Big Data, erzeugt plötzlich die Illusion von Künstlicher Intelligenz und greift tief in den Alltag ein, mit unglaublichen neuen Möglichkeiten, aber auch mit Risiken und Gefahren. Auch wenn die Mathematik im Inneren der neuen Internet- und Datenwelten komplex ist, müssen wir alle, jede/r Einzelne, eine konkrete Vorstellung haben davon, was bereits jetzt stattfindet und was in Zukunft möglich sein wird: Leibniz' Visionen hinsichtlich der Berechenbarkeit des Alltags werden über kurz oder lang auf unseren Bildschirmen und in unserem Alltagsleben ganz konkret erfahrbar sein.

Originalität, Priorität und Reputation: Leibniz und Newton

Der Streit zwischen Isaac Newton und seinen Anhängern in England auf der einen Seite und Gottfried Wilhelm Leibniz und dessen Anhängern im kontinentalen Europa auf der anderen Seite um die Rechte an der Erfindung der Differential- und Integralrechnung gehört zu den berühmt-berüchtigtsten seiner Art. Umfangreiche Darstellungen sind ihm gewidmet worden (Hofmann 1976; Hall 1980; Sonar 2016). Der Streit hat den berühmten französischen Mathematiker Jacques Hadamard 1946 anlässlich der vom 15. bis zum 19. Juli währenden *Newton Tercentenary Celebrations* zu der bissigen Bemerkung veranlasst:

We all know that the triumph for a historian of science is to prove that nobody ever discovered anything. (Fleckenstein 1977: 2)

Dieser schwarze Humor à la française kann nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Wissenschaftsgeschichte die alleinige Instanz ist, die im besten Fall Reputationszuschreibungen vornehmen kann und vornehmen sollte. Die Wissenschaftsgeschichte ist kraft des ihr auferlegten Quellenstudiums die Instanz für vertrauensbildende Maßnahmen.

Der folgende Beitrag wird sich auf die wichtigsten Dokumente konzentrieren, um aufzuzeigen, wie die ursprünglich von gegenseitiger Hochachtung geprägte Beziehung zwischen den beiden Gelehrten durch äußere Einflüsse in eine verheerende Feindschaft umschlug.

1 Die Erfindungen und ihre Veröffentlichungen

Zunächst ist zu klären, wann die beiden Mathematiker was gefunden und gegebenenfalls veröffentlicht haben. Newtons *anni mirabiles* [wunderbare Jahre] waren die Jahre 1665/66, in denen er die entscheidenden Ideen zur neuartigen Behandlung infinitesimaler Probleme hatte. In diese Zeit ist seine Methode der Potenzreihen und die Fluxionenrechnung, deren Umkehrung und Anwendung zu datieren. Seine Tangentenmethode gehört dagegen in die Jahre 1671/72.

Freilich hatte Nicolaus Mercator eine Potenzreihe bereits 1668 in seiner *Logarithmotechnia* verwandt. René François de Sluse hatte eine Tangentenmethode in den Jahren 1655 bis 1660 entwickelt und 1673 veröffentlicht (Hofmann 1976: XXII f.). Dementsprechend war Newton bemüht herauszustellen, dass seine Potenzreihenmethode nicht wie bei Mercator auf die Hyperbel beschränkt war, dass Sluses Tangentenmethode keinen Beweis habe und seine Methode besser sei. Schon früh sah sich Newton also veranlasst, seine Verdienste gegenüber anderen Mathematikern zu verteidigen.

Seine Ausarbeitungen erschienen erst Jahrzehnte später. Die *Analysis per aequationes numero terminorum infinitas* [Über die Analysis mittels Gleichungen, die unendlich viele Terme haben], die noch keine Symbole verwandte, schickte er am 10. August 1669 an John Collins an der Royal

Society. Veröffentlicht wurde sie in London erst 1711 zum ersten Mal. Die *Methodus fluxionum et serierum infinitarum* [Methode der Fluxionen und unendlichen Reihen] von 1670/71 wurde in englischer Übersetzung zum ersten Mal in London 1736, lange nach Newtons Tod, veröffentlicht, ohne dass Newton dort Symbole verwandte. Am 20. Dezember 1672 schickte Newton den sogenannten Tangentenbrief an John Collins, den Leibniz erst während seines zweiten Londoner Aufenthaltes im Oktober 1676 gesehen hatte, also ein Jahr nach seinen eigenen Entdeckungen, und der im *Commercium epistolicum* (Collins 1712 (1713)) abgedruckt wurde. Der *Tractatus de quadratura curvarum* [Abhandlung über die Inegration von Kurven] von 1693 wurde erst 1704 als Anhang zu Newtons *Optik* veröffentlicht (Newton 1704). Die Fluxionssymbole erschienen zum ersten Mal in der lateinischen *Algebra* von John Wallis im Druck (Wallis 1693–1699 II).

Wie stand es mit Leibniz? Leibniz fand 1673 den Transmutationssatz als affin-geometrischen Satz, den wir heute als partielle Integration deuten, und die nach ihm benannte Kreisreihe für $\frac{\pi}{4} = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} \pm$.

Die Leibniz'sche Form des *calculus*, die Differential- und Integralrechnung, das heißt die *Analysis tetragonistica* [Quadrierende, das heißt integrierende Analysis] und die *Methodus tangentium* [Tangentenmethode], die von der Newtonischen Version der Fluenten- und Fluxionenrechnung grundlegend verschieden ist, findet sich auf vier datierten Handschriften vom 25. Oktober bis zum 11. November 1675 (Leibniz seit 1923 VII, 5, N. 38, 40, 44, 46), in denen auch der Operator *d* und das Integralsymbol eingeführt werden.

Vom Juni bis September 1676 stammt seine strenge Begründung der Infinitesimalgeometrie, die *Quadratura arithmetica circuli ellipseos et hyperbolae cujus corollarium est trigonometria sine tabulis* [Arithmetische Quadratur des Kreises, der Ellipse und der Hyperbel, aus der eine Trigonometrie ohne Tafeln folgt]. Sie erschien erst 1993 zum ersten Mal vollständig im Druck (Leibniz 1993; Leibniz seit 1923 VII, 6, N. 51).

Die erste Veröffentlichung der Differentialrechnung erfolgte im Oktober 1684 (Leibniz 1684), der Integralrechnung ab 1686 (Leibniz 1686). Leibniz hat also seine Erfindungen etwa zehn Jahre nach Newton gemacht, aber Jahrzehnte vor ihm veröffentlicht.

Zweimal war Leibniz in London, freilich ohne Newton persönlich zu treffen. Der erste Besuch fand im Januar und Februar 1673 statt. Zwei Aspekte ließen ihn später in schlechtem Licht erscheinen, auch wenn er schon damals Mitglied der Royal Society wurde: Leibniz hatte – erstens – seine Rechenmaschine mitgenommen, um sie vorzuführen. Sie war aber noch nicht völlig fertiggestellt. An den Sekretär Henry Oldenburg schrieb er deshalb – viel zu optimistisch – am 26. April 1673 (Leibniz seit 1923 III, 1: 87):

Machina mea arithmetica, officium suum plane factura, uti absente me coepta erat, nunc ad finem decurrit.

[Meine Rechenmaschine, die ihre Aufgabe völlig erfüllen wird, kommt jetzt zum Abschluss, so wie sie in meiner Abwesenheit begonnen wurde.]

In Wahrheit musste sich Leibniz sein Leben lang um eine befriedigende Funktionsfähigkeit der Maschine bemühen.

Zweitens hatte Leibniz im Gespräch mit den Mitgliedern der Royal Society Bemerkungen gemacht, die seine Unkenntnis der neueren mathematischen Literatur unfreiwillig aufdeckten. John Pell machte ihn darauf aufmerksam, dass das Differenzenschema, von dem Leibniz sprach

und mit dessen Hilfe er die reziproken figurierten Zahlen summiert hatte, in England gut bekannt und sogar seit 1670 bei Gabriel Mouton nachzulesen sei (Hofmann 1676: LII). Dass dies auch für Pietro Mengoli galt, teilte ihm Oldenburg am 20. April 1673 brieflich mit (Leibniz seit 1923 III, 1: 52), eine etwas peinliche Erfahrung für Leibniz, die ihn am 13. Februar 1673 zu einer Ehrenerklärung veranlasste. Jahrzehnte später aber, als der Streit mit Newton ausgebrochen war, erinnerte man sich in England, dass doch Leibniz der Mann war, der seinerzeit Probleme mit seiner Rechenmaschine hatte und sich mathematische Leistungen zuschrieb, die längst andernorts veröffentlicht waren.

Leibnizens zweiter Besuch in London fand im Oktober 1676 statt. Er erhielt durch John Collins Zugang zu einigen Aufzeichnungen von Newton und James Gregory und exzerpierte unter anderem Newtons *De analysi*, freilich nur die Abschnitte, die Reihenentwicklungen zur Lösung von Gleichungen betrafen, nicht diejenigen zu Infinitesimalen, weil diese ihm nichts Neues boten (Hofmann 1974: 278 f.). Hofmanns sorgfältige, ausgewogene Analyse der Exzerpte zeigte, dass diese später zu Unrecht im *Commercium epistolicum* (Collins 1712 [1713]) gegen ihn verwandt wurden.

2 Der indirekte Briefwechsel zwischen Newton und Leibniz: Probleme der Chronologie

Von überragender Bedeutung für den späteren Streit wurden die beiden Briefe, die Newton im Jahre 1676 an Leibniz verfasste und über den Sekretär Henry Oldenburg der Royal Society diesem schicken ließ. Den ersten Brief (*Epistola prior*) – an Leibniz und Tschirnhaus – verfasste Newton am 13. (23.) Juni 1676. Oldenburg sandte ihn am 26. Juli (5. August) 1676 an Leibniz, also zu einem Zeitpunkt, wo Leibnizens Erfindungen fast ein Jahr zurücklagen (Leibniz seit 1923 III, 1, S. 533–554). Freilich schickte Oldenburg nicht das Original, sondern eine stark fehlerhafte Abschrift.

Als John Wallis den Brief zum ersten Mal im dritten Band seiner Werkausgabe veröffentlichte (Wallis 1693–1699 III: 622–629), wurde wegen eines Druckfehlers der falsche Absende-Termin 26. Juni (6. Juli) 1676 genannt, ein Fehler, den Newton in seinen *Account* von 1715 (Newton 1715) und andernorts übernommen hat. Leibniz erhielt den Brief am 24. August 1676 und beantwortete ihn am 27. August, behauptete allerdings, den Brief erst am 26. August erhalten zu haben (Leibniz seit 1923 III, 1: 568). Jedenfalls brauchte er nur zwei Tage, nicht viele Wochen, um Newtons Brief zu beantworten, wie ihm später unterstellt wurde.

Newton war überaus höflich, ja freundlich und bereit, die Leistung des Briefpartners anzuerkennen. An Oldenburg gewandt schrieb er (Leibniz seit 1923 III, 1: 535):

Dignissime Domine,

Quamquam Domini Leibnitii modestia in excerptis, quae ex epistola ejus ad me nuper misisti, nostratibus multum tribuat circa speculationem quandam infinitarum serierum, de qua jam coepit esse rumor, nullus dubito tamen, quin ille non tantum, quod asserit, methodum reducendi quantitates quascunque in ejusmodi series, sed et varia compendia forte nostris similia, si non et meliora adinvenit.

[Wertester Herr,

Obwohl die Bescheidenheit des Herrn Leibniz in den Auszügen, die Du mir neulich aus seinem Brief geschickt hast, unseren Landsleuten viel hinsichtlich einer Überlegung über unendliche Reihen zuweist, über die es bereits ein Gerücht zu geben begann, zweifle ich dennoch nicht im geringsten, dass jener nicht nur, was er versichert, eine Methode gefunden hat, beliebige Größen auf derartige Reihen zu reduzieren, sondern auch verschiedene, den unsrigen ähnliche abkürzende Verfahren gefunden hat, wenn nicht sogar bessere.]

Newtons zweiter Brief an Leibniz (*Epistola posterior*) stammte vom 24. Oktober (3. November) 1676. Am 5. und am 24. November nahm er Berichtigungen und Ergänzungen vor. Die Abschrift enthielt nicht alle Newton'schen Veränderungen und wurde erst am 12. Mai 1677 abgesandt bzw. Wilhelm Schroeter mitgegeben (Leibniz seit 1923 III, 2: 83–116). Newton glaubte, dies sei zu Beginn des Frühlings 1677 geschehen und behauptete 1722 (Newton 1722: 25):

Haec Newtoni epistola

[...] visa est Leibnitio Londini

[Dieser Brief Newtons [...] wurde von Leibniz in London gesehen.]

In Wahrheit fand ja Leibnizens zweiter Besuch in London bereits im Oktober 1676 statt. Den Brief erhielt er am 1. Juli 1677. Auch dieser Brief – angeredet wurde wieder Oldenburg – bezeugte die freundschaftliche Gesinnung Newtons gegenüber Leibniz (Leibniz seit 1923 III, 2: 85):

Vir dignissime,

Quanta cum voluptate legi Epistolas clarissimorum virorum D. Leibnitii et D. Tschirnhausii, vix dixerim. Perelegans sane est Leibnitii Methodus perveniendi ad series convergentes, et satis ostendisset ingenium authoris etsi nihil aliud scripsisset. Sed quae alibi per Epistolam sparguntur suo nomine dignissima efficiunt etiam ut ab eo speremus maxima.

[Wertester Herr,

Mit welchem Vergnügen ich die Briefe der hochberühmten Männer, der Herren Leibniz und Tschirnhaus, gelesen habe, kann ich kaum sagen. Sehr elegant ist in der Tat Leibnizens Methode, zu konvergenten Reihen zu gelangen, und hätte hinreichend das Genie des Autors gezeigt, selbst wenn er nichts anderes geschrieben hätte. Aber was anderswo über den Brief verstreut ist, ist seines Namens höchst würdig und bewirkt auch, dass wir von ihm das Größte erhoffen.]

Er kam auf die Fragen hinsichtlich Maxima und Minima zu sprechen und bemerkte (Leibniz seit 1923 III, 2: 92):

Fundamentum harum operationum, satis obvium quidem, quoniam jam non possum explicationem ejus prosequi, sic potius celavi, 6accdæ13eff7i3l9n4o4qrr4s8t12vx.

[Die freilich hinreichend offensichtliche Grundlage dieser Operationen habe ich, da ich ihre Erklärung nicht ausführen kann, lieber folgendermaßen verheimlicht: 6accdæ13eff7i3l9n4o4qrr4s8t12vx.]

Etwas später folgte noch ein weiteres, längeres Anagramm. Die Auflösung des ersten Anagramms sandte Newton in seinem Brief vom 16. (26.) Oktober 1693 (Leibniz seit 1923 III, 5: 656):

Data aequatione quantitates quotcunque fluentes involvente invenire fluxiones, et vice versa.

[Bei gegebener Gleichung, die beliebig viele fließende Größen enthält, die Fluxionen finden und umgekehrt.]

Weder dem Anagramm konnte Leibniz irgendeine sinnvolle Information entnehmen, noch hätte er diese der unverschlüsselten Botschaft entnehmen können.

3 Der unmittelbare Briefwechsel

1693 schickten sich Leibniz und Newton die jeweils einzigen beiden, unmittelbar an den Partner gerichteten Briefe. Am 7./17. März brachte sich Leibniz (Leibniz seit 1923 III, 5: 512–514) mit einem überaus höflichen Brief aus Hannover in Erinnerung:

Quantum Tibi scientiam rerum Mathematicarum totiusque Naturae debere arbitror, occasione data etiam publice sum professor. Mirifice ampliaveras Geometriam tuis seriebus [...] Mirificum est quod invenisti Ellipses Keplerianas prodire, si tantummodo attractio sive gravitatio et trajectio in planeta concipiantur [...] Haec scribo, magis ut studia ergo Te mea intelligas, quae nihil tot annorum silentio amisere, quam ut Tua ego studia, quibus auge humani generis opes, interrumpere velim vacuis literis, et supervacuis.

[Wie viel Dir meiner Ansicht nach die Wissenschaft der mathematischen Probleme und der gesamten Natur schuldet, habe ich bei gegebener Gelegenheit auch öffentlich bekannt. Auf wunderbare Weise hattest Du die Geometrie durch Deine Reihen erweitert [...] Wunderbar ist, dass sich, wie Du gefunden hast, die Kepler'schen Ellipsen ergeben, wenn man nur eine Anziehung oder Gravitation und Bahnbewegung im Planeten konzipiert [...] Dies schreibe ich, mehr damit Du meine eifrigen Bemühungen Dir gegenüber verstehst, die nicht durch das Schweigen so vieler Jahr verloren haben, als dass ich Deine Studien, durch die Du die Schätze des menschlichen Geschlechts vermehrst, durch einen leeren und überflüssigen Brief unterbrechen will.]

Newton brauchte über ein halbes Jahr für seine Antwort, die freilich dem Leibniz'schen Brief an Höflichkeit und Freundschaftsbeteuerung in nichts nachstand. Am 16. (26.) Oktober 1693 schrieb er ihm (Leibniz seit 1923, Bd. III, 5: 655–657):

Litterae tuae, cum non statim acceptis responderem, e manibus elapsae inter schedas meas diu latuere, nec in eas ante hesternum diem incidere potui. Id quod me moleste habuit cum amicitiam tuam maximi faciam, teque inter summos hujus saeculi Geometras a multis retro annis habuerim; quemadmodum etiam data omni occasione testatus sim. [...] metuebam ne amicitia nostra ex silentio decrementum acciperet [...] Spero autem me nihil scripsisse quod tibi non placeat, et siquid sit quod reprehensione dignum censeas ut literis mihi significes quoniam amicos pluris facio quam inventa mathematica. [...] His contestari volui me tibi amicum integerrimum esse et amicitiam tuam maximi facere.

[Da ich auf Deinen Brief nicht sofort nach dem Empfang antwortete, entglitt er meinen Händen und lag lange zwischen meinen Aufzeichnungen verborgen und ich konnte bis zum gestrigen Tag nicht darauf stoßen. Dies bereitete mir Verdruss, da ich Deine Freundschaft im höchsten Maße schätze und Dich seit vielen Jahren zu den bedeutendsten Geometern dieses Jahrhunderts zähle, wie ich es auch bei jeder gegebenen Gelegenheit bezeugt habe. [...] Ich fürchtete, dass unsere Freundschaft auf Grund des langen Schweigens Schaden nimmt [...] Ich hoffe aber, dass ich nichts geschrieben habe, was Dir nicht gefällt, und dass Du, wenn es etwas gibt, das Du für tadelnswürdig hältst, es mir brieflich anzeigt, da ich Freunde höher einschätze als mathematische Erfindungen [...] Hiermit wollte ich bezeugen, dass ich Dir ein unwandelbarster Freund bin und Deine Freundschaft im höchsten Maße schätze.]

Ansichts dieser Treueschwüre stellt sich erst recht die Frage, wie es wenige Jahre später zum unerquicklichen Streit zwischen den beiden Geistesheroen kommen konnte.

4 *Persönliche Empfindlichkeiten: Nicolas Fatio de Duillier*

Im Juni 1696 stellte Johann Bernoulli in den *Acta Eruditorum* das sogenannte Brachistochronen-Problem (Hall 1980: 105 f.; Sonar 2016: 358–361) vor: „Welche Kurve zwischen zwei nicht senkrecht untereinander liegenden Punkten hat die kürzeste Fallzeit?“

Die betreffende Kurve war die Brachistochrone, eine Zykloide. Auf Bitten von Leibniz verlängerte Johann Bernoulli die Abgabefrist für die Lösung, die schließlich von fünf Mathematikern gefunden wurde: Außer von Leibniz selbst von den Brüdern Johann und Jakob Bernoulli, Newton und dem Marquis de l'Hospital. Im Mai 1697 veröffentlichte Leibniz eine zusammenfassende Darstellung dieses Wettbewerbs. Darin heißt es (Leibniz 1697: 334):

Et sane notatu non indignum est, eos solos solvisse hoc problema, quos solvere posse conjeceram, nec vero nisi illos, qui in nostri calculi differentialis mysteria satis penetravere. Cumque praeter Dn. Fratrem Autoris, tale quid de Dn. Marchione Hospitalio in Galliam fuisset auguratus, adjeceram ex abundanti, me credere Dn. Hugenum, si viveret, Dn. Huddenium, nisi haec studia dudum seposuisset, Dn. Newtonum, si operam hanc in se reciperet, quaesito pares fore, quod ideo repeto, ne excellentes viros contemnere videar, quibus nostra tractare aut non licet aut non vacat.

[Und es ist in der Tat nicht unwert zu bemerken, dass allein diejenigen dieses Problem gelöst haben, von denen ich vermutet hatte, dass sie es lösen können, und wahrlich nur jene, die in die Geheimnisse unseres Differentialkalküls eingedrungen sind. Und da ich so etwas außer dem Bruder des Autors hinsichtlich des Herrn Marquis de l'Hospital prophezeit hatte, hatte ich überdies hinzugefügt, dass meiner Ansicht nach Herr Huygens, wenn er noch lebte, Herr Hudde, wenn er nicht diese Studien seit langem beiseitegelegt hätte, Herr Newton, wenn er diese Mühe auf sich nähme, der Anforderung gewachsen sein würden. Dies wiederhole ich deshalb, damit ich nicht herausragende Männer zu verachten scheine, denen es nicht möglich ist oder denen die Zeit fehlt, unsere Probleme zu behandeln.]

Was sollte die Bemerkung, dass nur diejenigen das Problem lösen konnten, die Leibnizens Differentialkalkül beherrschten? Dies musste eine ungeschickte, wenn nicht sogar provozierende Äußerung in den Ohren Newtons und seiner Anhänger sein. Ein solcher Anhänger in der Umgebung Newtons war der aus Basel stammende Nicolas Fatio de Duillier. Dass er nicht unter denjenigen von Leibniz genannt war, die das Brachistochronen-Problem lösen konnten, nahm er als persönliche Zurücksetzung, ja Beleidigung.

Bereits 1691 hatte er in einem privaten Brief erkennen lassen, dass er auf Leibniz nicht gut zu sprechen war. Am 28. Dezember jenes Jahres schrieb er an Christiaan Huygens in Paris (Huygens 1888–1950 X: 214):

Il me paroît par tout ce que j'ai pu voir jusques ici, en quoi je comprends des papiers écrits depuis bien des années, que Monsieur Newton est sans difficulté le premier Auteur du calculus differentialis, et qu'il le connoissoit autant ou plus parfaitement que Monsieur Leibnitz ne le connoit encore, avant que ce dernier n'en eut eu seulement la pensée, qui même ne lui est venue à ce qu'il semble qu'à l'occasion de ce que Monsieur Newton lui écrivit sur ce sujet. (Voiez Monsieur s'il Vous plait la page 253 du livre de Monsieur Newton).

[Es scheint mir auf Grund all dessen, was ich bisher sehen konnte, wozu ich Papiere zähle, die seit sehr vielen Jahren geschrieben wurden, dass Herr Newton ohne Schwierigkeit der erste Verfasser des Differentialkalküls ist und dass er ihn ebenso sehr oder vollkommener kannte als ihn Herr Leibniz bis heute kennt, bevor dieser Letztere davon nur den Gedanken gehabt hat, der ihm, wie es scheint, erst anlässlich dessen gekommen ist, was Herr Newton ihm über dieses Thema geschrieben hat (sehen Sie bitte die Seite 253 des Buches von Herrn Newton an.)]

1699 machte er seinem Ärger öffentlich in einer kleinen Schrift *Doppelte geometrische Untersuchung der Linie des kürzesten Abstiegs* Luft, in der Leibniz unmittelbar als zweiter Erfinder bezeichnet und ziemlich unverhüllt des Plagiats an Newton bezichtigt wird (Fatio 1699: 18; Newton 1959–1977 V: 98):

Newtonum tamen primum, ac pluribus Annis vetustissimum, hujus Calculi Inventorem, ipsa rerum evidentia coactus, agnosco: a quo utrum quicquam mutuatus sit Leibnitius, secundus ejus Inventor, malo eorum, quam meum, sit Judicium, quibus visae fuerint Newtoni litterae, aliique ejusdem Manuscripti Codices.

[Durch die Evidenz selbst der Tatsachen gezwungen erkenne ich an, dass Newton der erste und um viele Jahre älteste Erfinder dieses Kalküls ist. Ob sein zweiter Erfinder, Leibniz, irgendetwas von ihm übernommen hat, möchte ich lieber statt meinem dem Urteil derjenigen überlassen, die die Briefe Newtons und die anderen handgeschriebenen Schriften von diesem gesehen haben.]

Leibniz reagierte maßvoll und wies darauf hin, dass er Fatio mangels Bekanntheitsgrades nicht habe nennen können (Leibniz 1700). Aber der Plagiatsvorwurf war in der Welt und ermöglichte die Eskalierung des Streites.

5 Die nationale Karte: John Wallis

Der Senior der englischen Mathematiker, John Wallis, war stets bemüht, die Errungenschaften seiner englischen Landsleute in gebührendem Licht erscheinen zu lassen. Dies fand durchaus die Billigung von Leibniz. Nun hatte Wallis den Eindruck, dass Newtons Fluxionen und Fluenten angesichts der Veröffentlichungen von Leibniz nicht hinreichend gewürdigt wurden: Noch immer hatte ja Newton nichts von seiner Erfindung veröffentlicht.

Als er 1693 den zweiten Band seiner *Opera Mathematica* als ersten der dreibändigen Werkausgabe mit der lateinischen Fassung seiner *Algebra* veröffentlichte, fügte er dort einen von Newton selbst stammenden Vergleich zwischen der Fluxionen-Methode und dem Differentialkalkül an und führte zum ersten Mal im Druck Newtons Punktnotation vor (Wallis 1693–1699 II: 390–396; Hall 1980: 94; Sonar 2016: 364 f.). 1695 erschien der erste Band der *Opera*. Ins Vorwort nahm er einen Abschnitt auf, in dem er Newtons Prioritätsanspruch formulierte und die grob falsche Behauptung aufstellte, Newton habe in den beiden Briefen aus dem Jahre 1676 seine Fluxionsmethode dargelegt, die er mehr als zehn Jahre zuvor ausgedacht habe (Wallis 1693–1699 I: 3; Hofmann 1976: xxvi, Fußnote 25):

ex binis Newtoni literis [...] Junii 13. et Augusti 24. 1676, ad Oldenburgium datis, cum Leibnitio tum communicandis ubi methodum hanc Leibnitio exponit tum ante decem annos, nedum plures, ab ipso excogitatam.

[gemäß den beiden an Oldenburg gegebenen Briefen Newtons vom 13. Juni und 24. August 1676, die Leibniz mitzuteilen waren, wo er diese Methode Leibniz darlegt, die er zehn, vielmehr noch mehr Jahre zuvor ausgedacht hatte.]

Selbst das Datum des 2. Briefes war also falsch. Es hätte „24. Oktober“ heißen müssen.

Noch waren die beiden berühmten Briefe nicht veröffentlicht. Deshalb drängte Wallis Newton am 10. April 1695, dies endlich zu tun, wobei er weiterhin das falsche Datum des zweiten Briefes benutzte (Newton 1959–1977 IV: 100):

I wish you would also print the two large letters of June and August 1676 [...] because your Notions (of Fluxions) pass there with great applause, by the name of Leibnitz's Calculus Differentialis [...] Your are not so kind to your Reputation (and that of the Nation) as you might be, when you let things of worth ly by you so long, till others carry away the Reputation that is due to you.

Tatsächlich gab Newton sein Einverständnis, ebenso Leibniz, dass eine Auswahl seiner nach England gesandten Briefe von Wallis im dritten Band von dessen Werkausgabe veröffentlicht wurde. Der Band erschien im April 1699. Die Zusammenstellung der Briefe war einseitig tendenziös zugunsten von Newton vorgenommen worden. Daran ließ l'Hospital, der den Band im Sommer 1699 sah, in seinem Brief an Leibniz vom 13. Juli 1699 keinen Zweifel (Leibniz seit 1923 III, 8: 173; Hofmann 1976: xxxix Fußnote 128):

Il me paroist que les Anglois cherchent en toute maniere d'attribuer la gloire de cette invention à leur nation.

[Es scheint mir, dass die Engländer auf jede Weise versuchen, den Ruhm dieser Erfindung ihrer Nation zuzuwenden.]

Die sich anbahnende Auseinandersetzung wurde zu einer Auseinandersetzung zwischen Engländern und Deutschen, die weit über den Streit zwischen zwei Privatpersonen hinausging. Kein Wunder, dass Christian Wolff Leibniz am 20. April 1714 schreiben wird (Gerhardt 1860: 158):

Animos Anglorum adversus Germanos valde exacerbatos esse, nonnemo ex Anglia redux mihi significavit, qui cum pluribus sociis Societatis Regiae collocutus: quod quidem eo facilius fidem meam meruit, quia etiam Hagiensis diarii collectores scribunt, Anglos hanc controversiam non tractare ut controversiam inter Anglum et Germanum, sed ut inter Britanniam et Germaniam.

[Dass die Gemüter der Engländer sehr erbittert sind, hat mir ein Rückkehrer aus England angezeigt, der mit mehreren Mitgliedern der Royal Society gesprochen hat. Dies verdiente freilich um so leichter mein Vertrauen, als es auch die Bezieher des Den Haager Tagblattes schrieben, die Engländer behandeln diesen Streit nicht wie einen Streit zwischen einem Engländer und einem Deutschen, sondern wie zwischen Britannien und Deutschland.]

6 Das *Commercium epistolicum*

1704 war in London endlich Newtons *Tractatus de quadratura curvarum* erschienen, als Anhang zu seinen *Opticks*, in dem er seine Fluxionsmethode mit Hilfe von ersten und letzten Verhältnissen erklärte (Newton 1704). Leibnizens Rezension erschien ein Jahr später in den *Acta Eruditorum* (Leibniz 1705). Darin hieß es:

Pro differentiis [...] Leibnitianis D. Newtonus adhibet semperque adhibuit fluxiones, quae sunt quam proxime ut fluentium augmenta aequalibus temporis particulis quam minimis genita; iisque tum in suis Principiis naturae mathematicis tum in aliis postea editis eleganter est usus, quemadmodum et Honoratus Fabri in sua Synopsi geometrica motuum progressus Cavallerianae methodo substituit.

[Anstelle der Leibniz'schen [...] Differenzen verwendet Herr Newton und hat stets verwendet Fluxionen, die sich am nächstmöglichen wie die Vergrößerungen der Fluenten verhalten, die in gleichen, kleinstmöglichen Zeitteilen erzeugt wurden. Und diese hat er in seinen Mathematischen Prinzipien der Natur wie in anderen, späteren Veröffentlichungen elegant benutzt, so wie auch Honoré Fabri die Fortschritte von Bewegungen an die Stelle der Cavalieri'schen Methode gesetzt hat.]

Newton war über diese Bemerkung sehr verärgert, da der Text in seinen Augen besagte, er, Newton, habe seine Fluxionen an die Stelle der Leibniz'schen Differenzen gesetzt, so wie dies Fabri mit der Cavalieri'schen Methode getan hat. Er sah in Leibniz zu Recht den Autor der anonymen Rezension, auch wenn Leibniz die Autorschaft abstritt (Hofmann 1976: XLIII). In seinen Augen hatte ihn Leibniz angegriffen und den Prioritätsstreit begonnen.

Dieser Streit brach in voller Schärfe aus, als John Keill den Newton'schen Prioritätsanspruch und den Plagiatsvorwurf im 1710 erschienenen Band der *Philosophical Transactions* in aller Deutlichkeit wiederholte (Keill 1710). In diesem Aufsatz zur Zentripetalkraft kommt er zu dem Schluss:

Haec omnia sequuntur ex celebratissima nunc dierum fluxionum arithmetica, quam sine omni dubio primus invenit D. Newtonus, ut cuilibet ejus epistolas a Wallisio editas legenti facile constabit; eadem tamen arithmetica postea mutatis nomine et notationis modo a Leibnitio in Actis Eruditorum edita est.

[Dies alles folgt aus der in unseren Tagen hochberühmten Arithmetik der Fluxionen, die Herr Newton ohne jeden Zweifel als Erster gefunden hat, wie für jeden, der dessen von Wallis herausgegebene Briefe liest, leicht feststehen wird. Indessen ist dieselbe Arithmetik später, nach Änderung des Namens und der Bezeichnungsweise von Herrn Leibniz in den *Acta Eruditorum* herausgegeben worden.]

Der betreffende Band der *Philosophical Transactions* ging am 28. September 1710 an Leibniz. Diesen offenen Angriff auf seine Redlichkeit konnte er nicht einfach hinnehmen. Er wollte als Mitglied der Royal Society eine Ehrenerklärung dieser Gesellschaft, die längst gegen ihn eingestellt war. Eine Kommission wurde eingesetzt. Newton traf die Auswahl der heranzuziehenden Schriftstücke und schrieb die zugehörigen Zwischenbemerkungen. Das Ergebnis erschien unter dem Titel *Commercium epistolicum D. Johanne Collins, et aliorum de analysi promota* [Briefwechsel des Herrn John Collins und anderer über den Fortschritt der Analysis] nach englischem Jahresbeginn (25. März julianisch) und julianischem Kalender 1712, nach gregorianischem Kalender 1713 (Collins 1712 [1713]). Newton war Ankläger und Richter in eigener Sache.

Newton veröffentlichte 1715 anonym darüber einen Bericht (Newton 1715), dessen lateinische Fassung dem 1722 neu aufgelegten *Commercium epistolicum* eingefügt wurde (Newton 1722). Schon der englische Text lässt keinen Zweifel daran, dass Leibniz die entscheidenden Ideen von Newton erhalten hat. Unversöhnlich führte Newton die Polemik auch nach dem Tod Leibnizens fort. Danach war Leibniz – bestenfalls – der zweite Erfinder und hatte keine Rechte an der Erfindung (Newton 1722, S. 41, 43; Hofmann 1976, S. xxii, Fußnote 2):

Secundis inventoribus, etiam revera talibus vel exiguis vel nullis est honos; tituli vel juris nihil est. Quid cum istis igitur fiet, qui vel secundos se fuisse nullis certis argumentis possunt evincere? [...]

Quod si postea eam (sc. Methodum) sine ope Newtoni quam maxime invenisset Leibnitius; secundis tamen inventoribus exilis prorsus est gratia, nec nisi in inferiori subsellio locus; ne dicam, jus omnino nullum.

[Zweiten Erfindern, selbst denen, die wirklich solche sind, kommt nur eine winzige oder gar keine Ehre zu, keinerlei Anspruch, keinerlei Recht. Was also geschieht mit jenen, die durch keine sicheren Argumente überzeugend darlegen können, dass sie zum Beispiel zweite gewesen sind? [...]

Und wenn Leibniz später diese (Methode) ohne Hilfe Newtons weitestgehend gefunden hätte, so gebührt dennoch den zweiten Erfindern jedenfalls nur ein kümmerlicher Dank und nur ein Platz auf einem niedrigeren Sitz, um nicht zu sagen, überhaupt kein Recht.]

Epilog

Der unselige Streit zwischen Newton und Leibniz ist durch Unterstellungen von Dritten – Fatio de Duillier, John Keill – ausgelöst worden. Der Verlauf des Streites wurde durch verschiedene Aspekte beeinflusst: Man verwandte unter Außerachtlassung der Chronologie Abschriften statt der Originale. Man interpretierte zurückliegende Ereignisse im Lichte der neuen Entwicklung (Leibnizens erster Besuch in London). Persönliche Eitelkeiten (Fatio) wie nationale Empfindlichkeiten (Wallis) spielten ebenso eine Rolle wie ungeschickte oder missverständliche Formulierungen von Leibniz. Schließlich kamen bei Keill (Keill 1710) noch weitere Gründe hinzu, die in Leibnizens Ablehnung der Newton'schen Gravitation, des Newton'schen Raum- und Zeitbegriffs zu suchen waren. An den je eigenen Verdiensten der beiden Kontrahenten gibt es heute angesichts sorgfältigster wissenschaftsgeschichtlicher Studien keinen Zweifel mehr.

Literatur

- Collins, John (1712 (1713)). *Commercium epistolicum D. Johannis Collins, et aliorum de analysi promota jussu Societatis Regiae in lucem editum*. London: Typis Pearsonianis.
- Fatio de Duillier, Nicolas (1699). *Lineae brevissimi descensus investigatio geometrica duplex*. London: Taylor.
- Fleckenstein, Joachim Otto (1977). *Der Prioritätsstreit zwischen Leibniz und Newton*. 2. Auflage. Basel: Birkhäuser Verlag. (Beihefte zur Zeitschrift „Elemente der Mathematik“ Nr. 12).
- Gerhardt, Carl Immanuel (Hrsg.) (1860). *Briefwechsel zwischen Leibniz und Christian Wolff aus den Handschriften der Königlichen Bibliothek zu Hannover herausgegeben*. Halle: H. W. Schmidt. (Nachdruck Hildesheim: Olms, 1963).
- Hall, Alfred Rupert (1980). *Philosophers at war, The quarrel between Newton and Leibniz*. Cambridge / London / New York / New Rochelle / Melbourne / Sydney: Cambridge University Press.
- Hofmann, Joseph Ehrenfried (1974). *Leibniz in Paris 1672–1676, His growth to mathematical maturity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- (1976). „Einleitung“. In: Gottfried Wilhelm Leibniz, *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Akademie der Wissenschaften der DDR, Reihe III, Band 1. Berlin: Akademie-Verlag, S. XVII–LXXVI.
- Huygens, Christiaan (1888–1950). *Ouvres complètes*, publiées par la Société Hollandaise des Sciences. 22 tomes. La Haye: Martinus Nijhoff.
- Keill, John (1710). „Epistola [...] de Legibus Virium Centripetarum“. In: *Philosophical Transactions* 26, Nr. 317, September / Oktober 1708 (ausgegeben 1710), S. 174–187.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1684). „Nova methodus pro maximis et minimis, itemque tangentibus, quae non fractas, irrationales quantitates moratur, et singulare pro illis calculi genus“. In: *Acta Eruditorum* Oktober 1684, S. 467–473. Ich zitiere den Wiederabdruck in LMG V, S. 220–226.
- (1686). „De geometria recondita et analysi indivisibilium et infinitorum“. In: *Acta Eruditorum* Juli 1686, S. 292–300. Ich zitiere den Wiederabdruck in LMG V, S. 226–233.
- (1697). „Communicatio suae pariter duarumque alienarum ad edendum sibi primum a Dn. Joh. Bernoullio, deinde a Dn. Marchione Hospitalio communicatarum solutionum problematis curvae celerrimi descensus a Dn. Joh.

- Bernoullio geometris publice propositi, una cum solutione sua problematis alterius ab eodem postea propositi“. In: *Acta Eruditorum* Mai 1697, S. 201–206. Ich zitiere den Wiederabdruck in LMG V, S. 331–336.
- (1700). „Responsio ad Dn. Nic. Fatii Duillerii Imputationes. Accessit nova Artis Analyticae promotio specimine indicata; cum Designatione per Numeros assumptios loco literarum. Algebra ex Combinatoria Arte lucem capit“. In: *Acta Eruditorum* Mai 1700, S. 198–208. Ich zitiere den Wiederabdruck in LMG V, S. 340–350.
 - (1705). „Rezension von I. Newton, *Opticks*“. In: *Acta Eruditorum* Januar 1705, S. 30–36.
 - (seit 1923). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Berlin / Boston: Walter de Gruyter GmbH. (Die Reihe wird römisch, der betreffende Band arabisch gezählt: VIII, 1 bezeichnet den 1. Band der 8. Reihe).
 - (1993). *De quadratura arithmetica circuli ellipsoes et hyperbolae cujus corollarium est trigonometria sine tabulis*, kritisch herausgegeben und kommentiert von Eberhard Knobloch. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht. (Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse Dritte Folge Nr. 43).
- LMG = G. W. Leibniz, *Mathematische Schriften*, hrsg. von Carl Immanuel Gerhardt. 7 Bde. Berlin: A. Asher u. Comp./ London: D. Natt/Halle: H. W. Schmidt 1849–1863. (Nachdruck Hildesheim: Georg Olms 1962).
- Newton, Isaac (1704). *Opticks, or a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light. Also two treatises of the species and magnitude of curvilinear figures*. London: S. Smith and Benj. Walford.
- (1715). „An Account of the Book entituled *Commercium Epistolicum Collinii et aliorum, De Analysis promota*; published by order of the Royal-Society, in relation to the Dispute between Mr Leibnitz and Dr Keill, about the Right of Invention of the Method of Fluxions, by some call'd the Differential Method“. In: *Philosophical Transactions* 29, Nr. 342, Februar 1715, S. 173–224. Wieder abgedruckt in: Hall 1980, S. 263–314.
 - (1722). „Recensio libri, qui inscriptus est *Commercium epistolicum [...]*“. In: *Commercium epistolicum D. Johannis Collins, et aliorum de analysi promota jussu Societatis Regiae in lucem editum*. London: Typis Pearsonianis, 1722, S. 1–59.
 - (1959–1977). *The correspondence*, edited by H. W. Turnbull, J. F. Scott, A. Rupert Hall, Laura Tilling. 7 volumes. Cambridge: Cambridge University Press. (Reprint 2008).
- Sonar, Thomas (2016). *Die Geschichte des Prioritätsstreits zwischen Leibniz und Newton, Geschichte – Kulturen – Menschen*. Mit einem Nachwort von Eberhard Knobloch. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Wahl, Charlotte (2016). „Ich schätze Freunde mehr als mathematische Entdeckungen“ – Zum Prioritätsstreit zwischen Leibniz und Newton“. In: Michael Kempe (Hrsg.), *1716 – Leibniz' letztes Lebensjahr, Unbekanntes zu einem bekannten Universalgelehrten*. Hannover: Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek, S. 111–143.
- Wallis, John (1693–1699). *Opera mathematica*. 3 Bände. Oxford: Theatrum Sheldonianum. (Nachdruck Hildesheim: Olms, 1972).

Finanz- und Versicherungswesen im Zeichen Leibniz'scher Auffassung von Gerechtigkeit

Das im bayerischen Fürth ansässige Versicherungsunternehmen ERGO Direkt Versicherungen wirbt mit dem Spruch: „Versichern heißt verstehen“. Das Unternehmen bietet also Verständnis für den umworbenen Kunden, der dies sicherlich nur zu gern hört. Diese knappe Formulierung verrät freilich nicht, dass es sich beim Versichern um ein finanzielles Geschäft handelt, das politische Entscheidungen voraussetzt, das in einem juristischen Umfeld stattfindet und das auf mathematischen Berechnungen beruht. Die Zinspolitik der Europäischen Zentralbank durch Mario Draghi bringt zum Beispiel Sparer und Versicherungsunternehmen in Bedrängnis. Entsprechend wichtig werden Gültigkeit und Laufzeit von Versicherungsverträgen. Das Versicherungsrisiko kann ein Unternehmen nur mathematisch abschätzen.

Wie hat Gottfried Wilhelm Leibniz solche Fragen gesehen? Davon soll im Folgenden die Rede sein. Gemäß seinem Wahlspruch *Theoria cum praxi* interessierte er sich für Probleme, die damals wie heute überaus aktuell waren und sind – für Versicherungsschutz, Gerechtigkeit bei Geldgeschäften, die demographische Entwicklung, Altersversorgung und öffentliche Verschuldung. Die erste Thematik sei deshalb:

1 *Versicherungsschutz und Solidarität*

In mindestens fünf Denkschriften aus den Jahren 1678 bis 1700 hat sich Leibniz unter anderem oder ausschließlich mit der Gründung öffentlicher Versicherungen befasst, insbesondere gegen Feuer- und Wasserschäden. Er richtete diese Schreiben an die Mächtigen seiner Umgebung und seiner Zeit, an den Herzog Johann Friedrich von Hannover (1625–1679), an den in Wien residierenden deutschen Kaiser Leopold I. (1640–1705, Reg. ab 1658) und den damaligen Kurfürsten Friedrich III. (1657–1713, Reg. ab 1692) von Brandenburg, seit 1701 König in Preußen (Leibniz 2000: Kapitel I).

Vermutlich aus dem Sommer 1680 stammen die Vorschläge für Kaiser Leopold I, zu denen auch die Einrichtung von Leibrenten und einer Assecurations-Casse gehört. Acht Jahre später hat Leibniz für den Kaiser eine entsprechende Gesetzesvorlage zu diesem Thema abgefasst (Leibniz 2000: 20–22).

In der Schrift von 1680 bemüht sich Leibniz nachzuweisen, warum es im Interesse des *commune bonum*, des Gemeinwohls, ist, öffentliche Assekuranzen einzurichten (Leibniz 2000: 13):

Gleich wie die Natürlichen Societäten mit sich bringen, daß Eltern und Kinder, Mann und Weib, Herr und Knecht lieb und leid mit einandern ausstehen müssen, also erfordert es die billigkeit in der Republic oder bürgerlichen Societät, daß Casus fortuiti dadurch ein glied vor dem andern

nach schickung Gottes beladen wird, gleichsam gemein gemacht werden und einer dem andern sie tragen helffe.

Und er fährt fort:

Also ist die ganze Republick gleichsam ein schiff zu achten, welches vielen Wetter und unglück unterworfen, und daher ohnbillig, daß das unglück nur etliche wenige treffen, die andern aber frey ausgehen sollen.

Leibnizens Verständnis von Gerechtigkeit erfordert also eine Solidargemeinschaft der Bürger eines Staates. Die Einrichtung öffentlicher Versicherungen ist zugleich im Interesse des Staates, da man von Leuten nichts fordern könne, was sie nicht haben. Zwei Einwände gegen diese Regelung nimmt Leibniz vorweg, um diese zu widerlegen:

1. Wenn man das Unglück gemein mache, so müsse man auch das Glück gemein machen.

Leibniz betont den Unterschied zwischen den beiden Fällen: Denn der ungewöhnliche Glücksfall trete nur selten ein – ein eher schwaches Argument. Der Nutzen des Staates bestehe darin, dass jeder Bürger „bei Nahrung bleibe“, der Glückliche trage die *onera* nach seinem Vermögen. Alle, die Glücklichen wie die Unglücklichen, müssten zur Assecuration „contribuieren“, man wisse ja nicht, wen es treffe.

2. Der zweite Einwand hebt darauf ab, dass das Unglück durch eigene Schuld eingetreten sein könne. Man könne nicht unterscheiden, was *a casu fortuito* (von einem Schicksalsschlag), was von *negligentia* (Nachlässigkeit) oder *malitia* (Bosheit) herrühre.

Tatsächlich lässt sich nicht leugnen, dass mancher Bauer seinen Hof durch Alkoholismus verliert, dass manche Kinder von Hartz IV-Empfängern als Berufswunsch „Hartzter“ angeben. Aber solche Beispiele hätten Leibniz in seinem Widerspruch gegen den zweiten Einwand gestärkt: Man kann zwischen diesen Ursachen unterscheiden. Gegen Mutwillige und Faulenzer seien eine gute Landesordnung und deren Handhabung nötig. Und als Menschenkenner erwies er sich, wenn er mahnte, die Rettung müsse beizeiten einsetzen, da aus Unglück Verzweiflung, daraus Bosheit oder Lethargie erwachse.

Solidarität war für Leibniz demnach keine Einbahnstraße. Jeder muss in seiner Sphäre zum Glück aller wirken, soweit seine Mittel reichen. Jeder ist um des Gemeinwohls willen verpflichtet, für sein eigenes Wohlergehen zu sorgen. „Denn keiner so lahm ist, daß er nicht auf gewisse maße arbeiten könne,“ heißt es in dem um 1671 entstandenen umfangreichen *Grundriß eines Bedenckens von aufrichtung einer Societät in Teutschland zu auffnehmen der Künste und Wissenschaften* (Leibniz seit 1923 IV, 1: 542; Knobloch 2010: 82). Leibniz wäre es danach nicht in den Sinn gekommen, dass man – abhängig von der Unterstützung der Allgemeinheit – Bedingungen vor der Aufnahme einer ehrlichen Arbeit stellen kann, dass einer ganzen Schulkasse, deren Eltern ausnahmslos von Hartz IV leben, aus Steuergeldern eine USA-Reise spendiert wird, wie im Berlin des Jahres 2015 geschehen. Denn Ziel jeder Tätigkeit musste nach seiner Überzeugung das *commune bonum*, das Gemeinwohl sein.

Sein soziales Anliegen formulierte er gleich zu Beginn des zitierten *Grundrisses* zur Sozietätsgründung (Leibniz seit 1923 IV, 1: 530 f.):

Der wahre glaube nun, und die wahre hoffnung aber ist nicht nur reden, ja nicht nur denken, sondern practice denken, das ist thun, als wenns wahr wäre.

Kultur- und Sozialpolitik war für ihn praktischer Gottesdienst, öffentliches Wohl und universelle Harmonie lieben ist dasselbe wie den Ruhm Gottes zu verstehen und diesen nach Kräften zu vergrößern. Leibniz mahnte, dass denen zu raten gebührt, die Verstand ohne Macht besitzen. Er meinte damit insbesondere sich selbst. Den Mächtigen dagegen stehe es an – Leibniz unterlässt es höflicher Weise, „ohne Verstand“ hinzuzufügen – gütig Gehör zu geben.

Feuer- und Wasserschäden ist auf angemessene Weise vorzubeugen, ein Gedanke, der nachdrücklich in der Denkschrift zur Errichtung einer *Societas scientiarum et artium* in Berlin vom 26. März 1700 von Leibniz vertreten wird. Denn etwaige Überschüsse solcher Anstalten zur Bekämpfung derartiger Schäden sollten der zu gründenden Akademie der Wissenschaften zugute kommen. In der Denkschrift heißt es (Leibniz 2000: 25):

Zum Exempel, eines der nützlichsten Dinge, zum Besten von Land und Leuten wäre eine gute Anstalt gegen Feuerschäden. Und weil nunmehr vortreffliche Mittel dagegen aufgefunden, welche in Machinis und mathematischen Grund beruhen, so könnten alle grosse und kleine Städte in allen churfürstl. Landen damit aufs Vortheilhafteste versehen, und ein Teil des Fundi societatis zu förderst darin gesucht werden.

Und etwas später heißt es:

Ebenmässig wäre auch Anstalt zu machen gegen Wasserschäden, welche grösser als Feuerschäden zu seyn pflegen, weil sie zumahlen sich öfters begeben. [...] Zu diesem trefflichen Zweck ist nicht Anders als ein rechter Gebrauch der Geometria von Nöthen, und ist die Kunst der Wasserwaage nunmehr sehr hoch gebracht.

Mathematik war danach eine Kraft für Leibniz, die menschliche Kultur bewahrte. Er mahnte den Herzog in Hannover, den Kurfürsten in Berlin, den Kaiser in Wien, das Geld nur für den vorgesehenen Zweck aus Gründen der Glaubwürdigkeit zu verwenden. In der Denkschrift vom Juli 1680 schrieb er (Leibniz 2000: 17 f.):

Maßen Credit eines der wichtigsten dinge ist so man zu suchen und zu erhalten, und bisweilen höher als ein bahres Capital zu schätzen.

Eine nur zu aktuelle Feststellung angesichts der Vorgänge um die Fédération Internationale de Football Association (FIFA) und den Deutschen Fußballbund (DFB). Leibnizens Staatsbegriff meinte demnach nicht einen vollkommenen Wohlfahrtsstaat, sondern einen Staat, der sich auf Privateigentum und Selbstverantwortung stützt.

2 Gerechtigkeit bei Geldgeschäften

Wie stand es mit Leibnizens Gerechtigkeitsauffassung bei Geldgeschäften? Gemäß seiner Idee einer Weltharmonie musste es darum gehen, einen Interessenausgleich zwischen den beteiligten Parteien herzustellen, und zwar im Rahmen des seinerzeit gültigen Wirtschafts- und Vertragsrechtes. Danach galten in der Regel ein Schuldzins von 5 % und ein Verbot des Zinseszinses.

Forderte ein Gläubiger die geschuldete Summe vom Schuldner vorzeitig, das heißt vor dem vereinbarten Termin zurück, so galt nach dem römischen Recht des *Corpus Iuris Civilis* der Rechtsgrundsatz: „Wer früher zahlt, zahlt weniger.“ Der zulässige Abzug hieß *interusurium*, zwischenzeitlicher Zins. Leider wurde an den betreffenden drei Stellen des *Corpus Iuris Civilis* weder dieser Begriff definiert noch erklärt, wie der Betrag zu berechnen ist (*Digestum* 15,1 Vom Sondergut: Gesetz 9; *Digestum* 31 Von den Vermächtnissen usf.: Gesetz 82; *Digestum* 35,2 Zum Gesetz des Falcidius: Gesetz 66).

Es ging also um den Barwert eines in der Zukunft zu zahlenden Betrages, der bei Leibniz im Zusammenhang mit drei Anwendungen eine Rolle spielt: Bei Schuldenzurückzahlungen, bei Versteigerungen angesichts von Ratenzahlungen und bei Versicherungen bzw. Rentenkäufen. Leibniz hat fünf Fassungen eines Aufsatzes hinterlassen, in dem er die richtige Lösung ableitete (Leibniz 2000: N. II.8 bis II.12). Eine sechste Fassung hat er im Oktober 1683 in den Leipziger *Acta Eruditorum* veröffentlicht, und zwar als einzige Arbeit überhaupt zu dem gesamten Themenbereich (Leibniz 2000: N. II.22): *Meditatio juridico-mathematica de interusurio simplice* (Juristisch-mathematische Überlegung über den einfachen zwischenzeitlichen Zins).

In der ersten Fassung (Leibniz 2000: N. II.8) hieß es noch etwas ausführlicher: *Meditatio juridico-mathematica quanto plus petere intelligatur qui plus tempore petit seu de resegmento anticipationis, vulgo Rabat* (Juristisch-mathematische Überlegung darüber, wie viel mehr jemand nach unserem Verständnis fordert, der vorzeitig fordert oder über die Kürzung bei vorzeitigem Empfang, umgangssprachlich Rabatt).

Zu Leibnizens Zeiten gab es drei Lösungen. Die erste Lösung stammte vom berühmten Leipziger Rechtsgelehrten Benedikt Carpzov und war geltendes Recht. Danach sollte der Abzug aus den Zinsen für den Betrag zu berechnen sein, der zu Beginn jedes Jahres noch nicht bezahlt war.

Die zweite Lösung war die sogenannte *populäre Lösung* der Rechtssachverständigen.

Sei i der legale, jährliche Zinssatz, also in der Regel 5 %, $v = \frac{100}{i}$, a die Zahl der Jahre, nach denen zurückgezahlt werden muss, p der Betrag des geliehenen Geldes. Die Lösung verwendet nur den einfachen Zins. Verzinst man einen Betrag x unter diesen Voraussetzungen a Jahre lang, so erhält man $x + \frac{a}{v}x = p$ oder den Barwert $x = p \frac{v}{v+a}$.

Die dritte Lösung war die sogenannte *genaue Berechnung* der Kaufleute. Verzinst man einen Betrag x mit Zins und Zinseszins a Jahre lang, so erhält man

$$x \left(\frac{v+1}{v} \right)^a = p$$

oder den Barwert

$$x = p \left(\frac{v}{v+1} \right)^a$$

Wie aber stand es mit dem Gerechtigkeitspostulat? Danach durfte im Rahmen der Gesetze keiner einen Vorteil vor dem anderen haben, weder der Ratenzahler noch der Barzahler, weder der Schuldner noch der Gläubiger. Leibnizens Überprüfung der ersten beiden Lösungen war eindeutig: Carpzovs Lösung war absurd und ungerecht. Im Falle von Teilzahlungen über viele Jahre kam es zu der absurden Konsequenz, dass die Zinsen der noch ausstehenden Zahlungen

die bar geleistete Anzahlung übersteigen konnten, dass der Bieter weniger als nichts gezahlt hatte. Überdies wurde der Barzahler gegenüber dem Ratenzahler bevorteilt.

Aber auch die Lösung der Rechtssachverständigen war absurd und ungerecht. Die absurden Konsequenzen zeigten sich Leibniz, als er den Kaufpreis einer 40 Jahre währenden Rente berechnete (Leibniz 2000: N. III.6). Zugleich bevorteilte diese Lösung den Ratenzahler gegenüber dem Barzahler, den Gläubiger gegenüber dem Schuldner.

Also blieb nur die dritte Lösung für eine gerechte Lösung übrig. Aber sie war u. a. durch Umkehrung der Zinseszinsformel gewonnen worden. Deshalb stand der Vorwurf im Raum, dass bei dieser Lösung der gesetzlich verbotene Zinseszins angewandt wurde. In seinem Briefwechsel mit dem Leipziger Mathematikprofessor Christoph Pfautz gab sich Leibniz alle Mühe nachzuweisen, dass dieser Vorwurf unberechtigt war.

Leibniz leitete diese Lösung tatsächlich auf drei Weisen ab. In der umfangreichen Studie *De redditibus ad vitam aliisque pensionibus singularibus* (Über Leibrenten und andere individuelle Pensionen) (Leibniz 2000: N. III.6) erhält er für den Barwert einer in vier Jahren fälligen Summe Geldes p von 1000 Münzeinheiten eine alternierende, konvergente Reihe, die er sofort auf den Fall von a Jahren verallgemeinert (Leibniz 2000: 369):

$$1 \frac{p}{v^0} - \frac{a}{1} \frac{p}{v^1} + \frac{a(a+1)}{1.2} \frac{p}{v^2} - \frac{a(a+1)(a+2)}{1.2.3} \frac{p}{v^3} \pm \dots = p \left(\frac{v}{v+1} \right)^a$$

Er fügt eine historisch und methodologisch wichtige Bemerkung an:

Sed huius seriei infinitae summam aliter felicissime reperi [...] Unde patet eandem quaestionem diversis modis quaerendo novas maximi momenti veritates reperiri.

[Aber die Summe dieser unendlichen Reihe habe ich unter anderen Umständen mit einer guten Portion Glück gefunden. [...] Hieraus wird klar, dass neue Wahrheiten von höchster Bedeutung zu finden sind, wenn man dieselbe Frage mit verschiedenen Methoden untersucht.]

Ist $p = a = 1$, $v = 20$, so erhält man die Reihe:

$$1 - \frac{1}{20} + \frac{1}{400} - \frac{1}{8000} \pm \dots = \frac{20}{21} = \frac{v}{v+1}$$

Leibniz hat diese Reihe mit folgender Überlegung abgeleitet (Leibniz 2000: N. II.9): Das Geldgeschäft soll zwischen Gläubiger und Schuldner jetzt abgeschlossen werden, obwohl die Rückzahlung der Summe erst in einem Jahr fällig war. Zieht der Schuldner jetzt ein Zwanzigstel ab, so ist er dem Gläubiger 5 % Zinsen, also ein Vierhundertstel schuldig. Aber auch der Gläubiger erhält dann diese Zinsen vorzeitig und muss dem Schuldner seinerzeit wieder 5 % davon überlassen usw. Es kommt zu einem unendlichen Prozess virtueller Antizipationen und Kompensationen, das heißt zu der angeführten unendlichen, alternierenden Reihe.

Die dritte Ableitung ergibt sich aus der Umkehrung der Zinseszinsformel. Damit stand der Vorwurf im Raum, den verbotenen Zinseszins anzuwenden. Leibniz wies diesen Vorwurf nachdrücklich zurück: Man kann Zinsen für Zinsen fordern, die man vorzeitig zahlt. Man kann keine Zinsen für Zinsen fordern, die der Schuldner nicht rechtzeitig zahlt, und zwar wegen des gesetzlichen Verbotes des Zinseszinses. Mit anderen Worten: Die Kapitalisierung der Zinsen erlaubt es, für vorzeitig gezahlte Zinsen Zins zu verlangen.

Am Ende des im Oktober 1683 veröffentlichten Aufsatzes kündigte er eine weitere Arbeit zu Leibrenten an (Leibniz 2000: 288 f.):

De usu horum in quibusdam iuris quaestionibus apud egregios autores non satis recte definitis, aestimandisque redditibus ad vitam (ubi interusurio locus est) alio schediasmate disseremus.

[Über den Nutzen davon für einige Rechtsfragen, die bei herausragenden Autoren nicht hinreichend richtig definiert wurden und für die Einschätzung von Leibrenten (wo der zwischenzeitliche Zins eine Rolle spielt) werden wir in einem anderen Aufsatz sprechen.]

Einen solchen Aufsatz hat Leibniz nie veröffentlicht. Wohl aber hat er zahlreiche einschlägige Studien hinterlassen, wovon der Band (Leibniz 2000) schönes Zeugnis ablegt. Von diesen Studien soll im folgenden, letzten Abschnitt die Rede sein.

3 Demographie und Leibrenten

Leibniz hat stets die Wichtigkeit von Statistiken aller Art über Land und Leute für eine gute Staatsführung betont. Er sprach vom *calculus politicus*, vom politischen Kalkül, kannte, zitierte, exzerpierte teilweise die Schriften von Jan de Witt, Jan Hudde, Edmond Halley, William Petty oder John Graunt.

Wahrscheinlich 1682 arbeitete er eine Liste von sechsundfünzig einschlägigen Fragestellungen aus (Leibniz 2000: N. III.15): *Quaestiones calculi politici circa hominum vitam: et cognatae* (Fragen der politischen Rechnung zum Leben der Menschen sowie verwandte). Dazu gehörten die folgenden Themen:

Numerus hominum
 Quae aetates magis mortibus obnoxiae
 Quae sit longitudo media vitae humanae
 Quanti sit redditus ad vitam
 Comparatio mortium et nativitatum
 Incrementum aut decrementum generis humanis
 usf.

[Anzahl der Menschen
 Welche Altersstufen Krankheiten mehr unterworfen sind
 Welche die mittlere Länge des menschlichen Lebens ist
 Wie hoch eine Leibrente ist
 Vergleich von Todesfällen und Geburten
 Anwachsen oder Abnehmen des Menschengeschlechtes]

Die Antworten beruhten auf Erfahrungen, die freilich unsicher und individualisiert waren. Deshalb verzichtete Leibniz für seine mathematische Modellierung des menschlichen Lebens ausdrücklich auf die Benutzung solcher statistisch gewonnener Angaben und legte seinem mathematischen Modell von menschlicher Sterblichkeit drei stark vereinfachende Annahmen zugrunde (Leibniz 2000: N. III.9; III.11; Rohrbasser und Véron 2001: 23):

1. Alle Menschen sind gleich lebensstauglich.
2. Jedes Alter ist gleich todesanfällig.

3. Die Grenze des menschlichen Lebens sind 80 (70, 81) Jahre.

Das Modell machte keinen Unterschied zwischen Männern und Frauen. Das Risiko zu sterben, war für alle gleich. Als Pionier der mathematischen Modellierung von Wirklichkeit wusste Leibniz, dass Vereinfachungen unvermeidbar waren. Die Frage war nur, welche Aspekte unentbehrlich waren, welche vernachlässigt werden konnten. Um zu mathematischen Ergebnissen zu kommen, nahm er in Kauf, ein *terrible simplicateur* zu sein. So setzte er u. a. eine stationäre Bevölkerungsentwicklung voraus: Es sterben so viele Menschen wie geboren werden.

Als Versicherungsmathematiker war Leibniz auf die Wahrscheinlichkeitstheorie angewiesen, um etwa die mittlere Lebensdauer oder mittlere Lebenserwartung einzelner oder von Gruppen von Menschen zu berechnen. Er betonte freilich, dass trotz aller Unsicherheiten die Möglichkeit einer *certa quaedam et mathematica probabilitatis aestimatio* bestehe, einer „gewissen sicheren und mathematischen Schätzung der Wahrscheinlichkeit“ (Leibniz 2000: 446 f.; Knobloch 2009: 117).

Von der mittleren Lebenserwartung – etwa a Jahre – hing die Höhe des Kaufpreises einer Rente ab. Außer Frage stand für Leibniz, dass die Zahlung einer Rente eine Gegenleistung, die Entrichtung eines Kaufpreises, voraussetzte. Wieder ging es um die Aufgabe, die Gerechtigkeit dieses finanziellen Geschäftes sicher zu stellen. Da die Rente zu a verschiedenen Zeitpunkten gezahlt werden sollte, war nicht länger der einfache, zwischenzeitliche Zins wie beim Barwert eines einzigen Betrages anzuwenden, sondern der zusammengesetzte, zwischenzeitliche Zins. Leibniz hat das Ergebnis viermal abgeleitet (Leibniz 2000: N. II.10; II.11; II.12; III.17). Er hatte die Barwerte desselben (Renten-)Betrages zu a verschiedenen Zeitpunkten zu berechnen. Je weiter entfernt der Zeitpunkt lag, desto geringer war der Barwert und damit Summand der endlichen, geometrischen Reihe, deren Summe den Kaufpreis der Rente ergab.

Seien x der Kaufpreis, p der gewünschte Rentenbetrag, a die Laufzeit in Jahren, i der gesetzliche Zinssatz, $v = \frac{100}{i}$. Dann ergibt sich für x :

$$p \left(\frac{v}{v+1} \right)^1 + p \left(\frac{v}{v+1} \right)^2 + \dots + p \left(\frac{v}{v+1} \right)^a = \left(1 - \left(\frac{v}{v+1} \right)^a \right) vp$$

Leibniz betrachtete jedoch nicht nur gewöhnliche Renten, sondern verschiedene Typen von Leibrenten, also außergewöhnliche Renten (Abb. 1).

Von besonderem Interesse sind seine Leibrentenzahlungen an Gesellschaften. Diese Form von Rentenzahlung hieß *Tontine* und war vom Kardinal Mazarin 1653 in Paris eingeführt worden. Sie bezeichnete kein Versicherungsgeschäft im engeren Sinn, da der Veranstalter keinen Anteil am versicherungstechnischen Risiko der Langlebigkeit trug. Dieses Risiko trug allein der Teilnehmer. Um seine Kaufpreisüberlegungen auf Gesellschaften anwenden zu können, musste Leibniz festlegen, was die Lebensdauer einer Gesellschaft und was die wahrscheinliche Lebensdauer einer Gesellschaft sein sollten.

Deshalb verwandte er die folgenden zwei Definitionen:

1. Die Lebensdauer einer Gesellschaft ist die obere Grenze der individuellen Lebensdauern ihrer Mitglieder. Eine Gesellschaft überlebt bis zum Tod ihres letzten Mitgliedes.
2. Die wahrscheinliche Lebensdauer einer Gesellschaft von n beliebigen Personen ist das arithmetische Mittel der Lebensdauern von n -Tupeln.

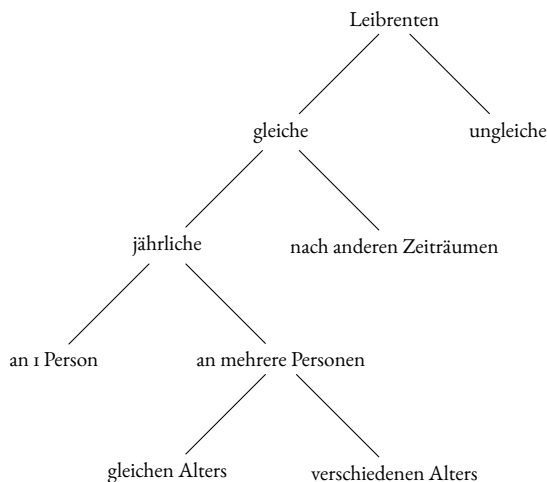


Abbildung 1. Verschiedene Typen von Leibrenten

Die zweite Definition verwendet das arithmetische Mittel als Schätzfunktion: Die Gesamtsumme aller Lebenserwartungen von Gesellschaften einer bestimmten Anzahl von Personen – die verschiedenen Gesellschaften werden durch kombinatorische Operationen ermittelt – wird durch die Zahl der Gesellschaften dividiert. Es sei hier nur darauf hingewiesen, dass der so berechnete Barwert der Leibrente zu hoch ist (Knobloch 2009: 118 f.).

Folgendes Beispiel diene zur Veranschaulichung der Leibniz'schen Methode:

Sei a (75) dasselbe Alter einer Gruppe von n (6) Personen. Sei $t = 80$ Jahre die maximale Lebenserwartung. Alle n Personen sollen verschiedene Lebenserwartungen haben, also angesichts ihres Alters 0, 1, 2, 3, 4 bzw. 5 Jahre. Die Berechnung der wahrscheinlichen Lebenserwartung einer Gesellschaft von zum Beispiel drei Personen aus dieser Gruppe erfolgt in vier Schritten (Leibniz 2000: 508):

Erstens werden die möglichen Kombinationen, das heißt möglichen Gesellschaften aus drei Personen ermittelt.

Zweitens werden die Lebenserwartungen dieser Gesellschaften ermittelt.

Drittens wird die Gesamtzahl der Lebenserwartungen durch Summenbildung ermittelt.

Viertens wird die wahrscheinliche Lebenserwartung einer solchen Gesellschaft aus drei Personen ermittelt, indem die im dritten Schritt ermittelte Zahl durch die im ersten Schritt ermittelte Zahl geteilt wird.

Seien also A, B, C, D, E, F die sechs Personen der Gesamtgruppe mit den Lebenserwartungen 0, 1, 2, 3, 4, 5 Jahre.

1. Die möglichen 20 Dreierkombinationen sind:

ABC, ABD, ABE, ABF

ACD, ACE, ACF

ADE, ADF
 AEF
 BCD, BCE, BCF
 BDE, BDF
 BEF
 CDE, CDF
 CEF
 DEF

2. Die Lebenserwartungen dieser Gesellschaften werden durch den höchsten darin auftretenden Buchstaben gegeben. Diejenige mit C als höchstem Buchstaben hat eine Lebenserwartung von 2 Jahren, diejenigen mit D eine solche von 3 Jahren, von E eine solche von 4 Jahren und von F eine solche von 5 Jahren.
3. Danach erhält man die Gesamtzahl

$$2.1 + 3.3 + 4.6 + 5.10 = 2 \binom{2}{2} + 3 \binom{3}{2} + 4 \binom{4}{2} + 5 \binom{5}{2} = 85$$

4. Die Division der Summe 85 der Lebenserwartungen durch die Zahl 20 der möglichen Dreier-Gesellschaften ergibt $\frac{85}{20} = 4,25$ Jahre. Leibniz verallgemeinert das Ergebnis auf eine Gruppe von 80 Personen und Gesellschaften daraus von n Personen. 80 ist die Obergrenze der Gruppenstärke unter den gemachten Voraussetzungen, da 80 die maximale Lebenserwartung sein und alle Personen verschiedene Lebenserwartungen haben sollen. Er verwandelt dazu $4,25 = \frac{17}{4}$ in $\frac{3}{4}3 + 2$, wobei der Zähler 3 der Gesellschaftsgröße, der Faktor 3 der Differenz $6 - 3$ aus Gruppen- und Gesellschaftsgröße entspricht. Danach ergibt sich:

$$\frac{3}{4} + 2 = \frac{n}{n+1} (80 - n) + (n - 1) = \frac{80n - 1}{n + 1}$$

Dieser Ausdruck ist in die Leibniz'sche Kaufpreisformel einzusetzen. Leibniz hat entsprechende Rechnungen durchgeführt, wenn gleiche Lebenserwartungen zulässig sind, wenn die Personen einer Gesellschaft aus verschiedenen Gruppen stammen, wenn in verschiedenen langen Zeiträumen verschieden hohe Renten gezahlt werden. Veröffentlicht hat er von alldem nichts.

Epilog

1995 erschien der Band (Leibniz 1995) mit einigen derartigen aus dem Nachlass herausgegebenen Studien, die freilich teils unvollständig, teils fehlerhaft ediert waren. Zwei Jahre später veröffentlichte Walter Hauser seine Dissertation *Die Wurzeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung* (Hauser 1997). Ausführlich ging Hauser auf die Themen politische Arithmetik, Absterbeordnung, Demographie, Leibrenten, Versicherungsprobleme bei den Autoren John Graunt (1662), Jan de Witt (1671), William Petty (1682) ein (Knobloch 2009: 121). Von den Leibniz'schen Beiträgen ist keine Rede, da auch der zwei Jahre zuvor erschienene, erwähnte Band dem Autor unbekannt blieb oder von diesem nicht mehr herangezogen werden konnte.

Die Situation änderte sich erst grundlegend mit dem Band (Leibniz 2000), der die fünfzig wichtigsten Schriften von Leibniz zur Versicherungs- und Finanzmathematik zum großen Teil überhaupt zum ersten Mal im französischen oder lateinischen Original mit einer deutschen Übersetzung zugänglich machte. Die vierundzwanzig neuen Stücke bilden das Supplement bzw. Abschnitt VII des Bandes IV, 4 der Leibniz-Ausgabe, der 2001 erschien (Leibniz seit 1923 IV,4: 623–835). Finanziert wurde der Band (Leibniz 2000) von der Versicherungsgruppe Hannover (VGH) im Rahmen der 250-Jahrfeier des Unternehmens. Denn es betrachtet Leibniz als geistigen Ahnherrn: Sein Solidaritätsgedanke liegt dem Geschäftsmodell des Unternehmens zugrunde. Seit dem Jubiläumsjahr fördert es in vielfältiger Weise die Leibniz-Forschung: 2016 wird während des X. Internationalen Leibniz-Kongresses zum ersten Mal der VGH-Preis für eine herausragende Dissertation über Leibniz vergeben.

Literatur

- Hauser, Walter (1997). *Die Wurzeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Die Verbindung von Glücksspieltheorie und statistischer Praxis vor Laplace*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Knobloch, Eberhard (2009). Ein Stück Vorgeschichte der Versicherungsgruppe Hannover (VGH): Leibniz und das Versicherungswesen. In: *Der universale Leibniz: Denker, Forscher, Erfinder*. Hrsg. von Thomas A. C. Reydon, Helmut Heit und Paul Hoyningen-Huene. Stuttgart: Steiner, S. 111–121.
- (2010). Leibniz und die naturwissenschaftlichen Akademien im Zeitalter der Aufklärung. In: *Das Europa der Akademien*. Hrsg. von Volker Sellin. Heidelberg: Universitätsverlag Winter, S. 77–102.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (seit 1923). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Berlin: Walter de Gruyter GmbH. (Die Reihe wird römisch, der betreffende Band arabisch gezählt: VIII, 1 bezeichnet den 1. Band der 8. Reihe).
- (1995). *L'estime des apparences, 21 manuscrits de Leibniz sur les probabilités, la théorie des jeux, l'espérance de vie*. Texte établi, traduit, introduit et annoté par Marc Parmentier. Paris: J. Vrin.
- (2000). *Hauptschriften zur Versicherungs- und Finanzmathematik*. Hrsg. von Eberhard Knobloch und J.-Matthias Graf von der Schulenburg. Mit Kommentaren von Eberhard Knobloch, Ivo Schneider, Edgar Neuburger, Walter Karten und Klaus Luig. Berlin: Akademie Verlag.
- Rohrbasser, Jean-Marc und Véron, Jacques (2001). *Leibniz et les raisonnements sur la vie humaine*. Préface de Marc Barbut. Paris: Institut National des Études Démographiques.

Versicherungstechnik, Solidarität und Gerechtigkeit

Anlässlich der Tagung „Solidarität und Gerechtigkeit: Leibniz und das moderne Versicherungssystem“ (eine öffentliche Abendveranstaltung im Rahmen des Jahresthemas am 3. 12. 2015) befasste ich mich mit den Niederungen der Versicherungstechnik, mit dem Handwerk sozusagen. Ich werde in der gebotenen Kürze die Regeln der Finanzierung und Kalkulation für die Sozial- und Privatversicherung erläutern. An einigen Beispielen werde ich zeigen, wie schwer es diese Regeln haben, in den Gerechtigkeitsdebatten zu bestehen.

1 *Die Finanzierung der Gesetzlichen Rentenversicherung*

Die Sozialversicherung wird im Umlageverfahren finanziert. In der Gesetzlichen Rentenversicherung werden die Beiträge der Aktiven sofort an die Rentner verteilt. Ein Kapitalstock wird nicht gebildet, lediglich eine kleine Kassenreserve. Zur großen Rentenreform unter Adenauer im Jahre 1957 finanzierten vier Aktive einen Rentner. Heute ist das Verhältnis etwa 2 zu 1, die demographische Entwicklung führt dazu, dass sich dieses Verhältnis weiter verschlechtert.

Was ist zu tun? Die Zahl der Handlungsalternativen ist überschaubar: Man kann die Beiträge erhöhen oder die Renten kürzen. Man kann, wie mit der sogenannten Riesterrente, eine zusätzliche kapitalgedeckte Altersversorgung aufbauen und man kann natürlich die Löcher mit Steuereinnahmen stopfen. Beliebt ist auch der Vorschlag, alle Bundesbürger in die Rentenversicherung zu zwingen, um neue Beitragszahler zu gewinnen. Aber auch diese Beitragszahler würden irgendwann Rentner, und dann wäre das Problem größer als zuvor, zugegebenermaßen erst nach den nächsten oder übernächsten Wahlen.

Es gilt also, den Mangel zu verwalten. Dazu sind politische Entscheidungen erforderlich, die begründet werden müssen, die sich aber leider nicht aus der Mathematik herleiten lassen. Ob es in dieser Situation sinnvoll ist, die gegenwärtige und zukünftige Generation der Aktiven mit zusätzlichen Leistungen zugunsten der Rentner zu belasten, ist mehr als fraglich. Genau das ist aber durch die Mütterrente und die Rente mit 63 geschehen. Alles in allem ist die Versicherungstechnik ein fruchtbares Feld für Gerechtigkeitsdebatten.

2 *Die Finanzierung der Privaten Lebensversicherung*

Die Lebensversicherung wird im Kapitaldeckungsverfahren finanziert. Die Kunden zahlen Beiträge ein, bis das Sparziel erreicht ist. Dieser Ansparprozess kann durch eine Risikoversicherung abgesichert werden, damit auch im Falle des vorzeitigen Todes die vereinbarte Versicherungs-

summe zur Verfügung steht. Die Beiträge, die die Versicherten einzahlen, werden im sogenannten Deckungsstock verwaltet. Hieran sind die Versicherten beteiligt wie an einem Fonds. Der Deckungsstock unterliegt strengen Anlagevorschriften, bei denen es vor allem um die Sicherheit der Anlagen geht. Deshalb liegt der Schwerpunkt der Anlagen bei festverzinslichen Papieren.

Wenn nun das allgemeine Zinsniveau sinkt, steigen die vorhandenen höher verzinslichen Papiere im Wert, es entstehen sogenannte stille Reserven. Bei dem großen Vermögen, das die Lebensversicherer verwalten, handelt es sich um beachtliche Summen, die natürlich erst bei Veräußerung oder Fälligkeit der Papiere zu Geld werden. Um diese stillen Reserven war in jüngerer Vergangenheit ein heftiger Streit entbrannt. Beinahe die gesamte Wirtschaftspresse nahm Partei für die Kunden, die vorzeitig die Lebensversicherung kündigen und ihre eingezahlten Beiträge nebst Zinsen zurückfordern. Diese Kunden müssten auch an den stillen Reserven beteiligt werden.

Auch für diese Debatte mussten natürlich Solidarität und Gerechtigkeit als Argumente herhalten. Selten wurde aber bedacht, dass jede Bevorzugung der vorzeitigen Aussteiger zu Lasten der vertragstreuen Kunden geht. Inzwischen hat der Gesetzgeber den Streit durch einen Kompromiss beigelegt und damit für relative Ruhe gesorgt.

3 *Das Solidaritätsprinzip in der Sozialversicherung*

Im letzten Jahrzehnt hat es einen erbitterten Streit um das Solidaritätsprinzip in der Gesetzlichen Krankenversicherung gegeben, der sich an der sogenannten Kopfpauschale entzündet hat. So werden die Beiträge in der Gesetzlichen Krankenversicherung in Prozent des Einkommens bis zur Höhe der Beitrags-Bemessungsgrenze berechnet. Der Familienstand und die Zahl der Kinder spielen keine Rolle. Das bedeutet, dass Höherverdienende Geringverdiener subventionieren. Alleinstehende subventionieren Familien. Das ist der Kern des Solidaritätsprinzips, und das ist genau das, wovon alle Politiker ohne Unterlass reden: Starke Schultern müssen mehr tragen als schwache Schultern, Familien müssen unterstützt werden. Das funktioniert beim System der einkommensabhängigen Beiträge völlig automatisch und völlig unbürokratisch. Und das war so, seit Bismarck 1883 die Gesetzliche Krankenversicherung in Deutschland eingeführt hat.

Das System hat aber, das sei zugegeben, einen Schwachpunkt. Der gut verdienende Single, dessen Einkommen die Pflichtversicherungsgrenze übersteigt, ist heute bei der Privaten Krankenversicherung besser aufgehoben und deshalb geneigt, dorthin zu wechseln. Bei der Gesetzlichen Krankenversicherung handelt es sich also nicht um ein geschlossenes System, und durch das Leck schlüpfen ausgerechnet die Personen, die andere subventionieren sollen.

Um dieses zu verhindern, ohne eine generelle Versicherungspflicht für alle einzuführen, entstand die Idee der Kopfpauschale. Damit sollte von der einkommensabhängigen Beitragsberechnung Abschied genommen werden. Es sollte ein einheitlich durchschnittlicher Beitrag für Erwachsene und für Kinder ermittelt werden, sagen wir 200 Euro für Erwachsene und 80 Euro für Kinder. Damit könnte man den Single in der Gesetzlichen Krankenversicherung halten.

Um die Kopfpauschale entbrannte eine erbitterte Feldschlacht, bei der einmal mehr Gerechtigkeit und Solidarität als Munition herhalten mussten. Im April 2010 wurde der Protest gegen den Erzfeind sogar institutionalisiert. Der DGB mit seinen Mitgliedsgewerkschaften, mit

Wohlfahrts- und Sozialverbänden und anderen gründete das Aktionsbündnis „Köpfe gegen Kopfpauschale“, dem auch prominente Einzelpersonen wie Günter Wallraff und Lea Rosh beitraten. In der Debatte wurde vor allem das Totschlagargument von der schreienden Ungerechtigkeit eingesetzt: Es gehe doch nicht an, dass die Sekretärin denselben Beitrag bezahlen muss wie ihr Chef. Das sei ungerecht, das sei unsozial. Bei den Grundnahrungsmitteln ist das offenbar anders, hier darf die Sekretärin dieselben Preise für die Brötchen bezahlen wie ihr Chef. Es gab aber auch Befürworter der Idee, von deren Argumenten ich eines herausgreifen möchte, weil es in seiner Qualität so schön zu den Argumenten der Gegner passt. Das jetzige System sei ungerecht, weil der Geringverdienende für die gleiche Leistung seiner Krankenkasse einen niedrigeren Beitrag bezahlt als der Höherverdienende. Hier wird also das Solidaritätsprinzip als ungerecht bezeichnet. Man traut seinen Augen nicht, und doch ist dies in einem Leitartikel der FAZ nachzulesen.

Inzwischen ist die Kopfpauschale sanft entschlafen, und wir sollten ihr nicht nachtrauern. Es lohnt sich aber festzuhalten, dass ausgerechnet das schwächste Argument, nämlich das von der Sekretärin, die stärkste Wirkung entfaltet hat.

4 *Das Äquivalenzprinzip in der Privatversicherung*

In der Privatversicherung werden die Prämien nach dem sogenannten Äquivalenzprinzip kalkuliert. Dabei handelt es sich um eine gänzlich unideologische Handlungsanweisung zur Berechnung von Versicherungsprämien. Es wird gefordert, die Prämie für eine einzelne Versicherung so zu ermitteln, dass sie mindestens den Erwartungsschaden und die Kosten eben dieser Versicherung deckt. Der Erwartungswert des Schadens wird aus der Statistik ermittelt. Es ist der Betrag, der auf die Dauer und im Durchschnitt jährlich als Schaden für die konkreten Policen anfällt. In einem freien Versicherungsmarkt hat jede Abweichung vom Äquivalenzprinzip negative Folgen. Die einen Versicherungen werden zu teuer, die anderen zu billig verkauft. Zu teure Versicherungen wandern zur Konkurrenz ab, zu billige bleiben oder wandern zu, es stellen sich Verluste ein.

Dieses harmlose Kalkulationsprinzip ist zum Gegenstand heftiger Kritik geworden, weil es als Verursachungsprinzip und sein Ergebnis als risikogerecht bezeichnet wird. Unter Ursache verstehen die Kostenrechner aber etwas gänzlich anderes als die Kritiker, hier besonders die Kritikerinnen. Die einen reden von den Kosten, die ein konkretes Produkt bei seiner Herstellung verursacht, die anderen reden von Schuld und Sühne. Unter risikogerechter Prämie verstehen die einen eine Prämie, die dem versicherten Risiko entspricht, die anderen meinen die himmlische Gerechtigkeit.

Ich möchte diesen Dissens an zwei Beispiel erläutern, einem aus der Krankenversicherung und einem aus der Lebensversicherung.

Das erste Beispiel aus der Krankenversicherung gehört zu meinen Lieblingsthemen. Ich habe darüber einmal einen vorlauten Artikel unter der Überschrift „Das Schwangerschaftsrisiko der Männer“ veröffentlicht. Worum geht es?

In der Privaten Krankenversicherung ist die kalkulierte Risikoprämie für Frauen höher als die für Männer. Einer der Gründe dafür ist, dass die Kosten für Schwangerschaft mitversichert

sind, und Männer können nun einmal nicht schwanger werden. Sollte man meinen. Der Prämienzuschlag für das Schwangerschaftsrisiko hat zu heftigen Attacken der Frauen auf die Ratio geführt, denen diese, obgleich ja ebenfalls weiblichen Geschlechts, letztendlich erlegen ist. Männer, so hieß es, verursachten genauso viele Schwangerschaften wie Frauen, also sei es logisch und folgerichtig, dass Männer genau so viel dafür bezahlen. Die Kosten der Schwangerschaft müssten deshalb zu gleichen Teilen auf die Tarife von Männern und Frauen umgelegt werden.

Bei einem Versicherungsvertrag kommt es aber überhaupt nicht darauf an, wer den Schaden verursacht, entscheidend ist nur, unter welcher Police er versichert ist. Natürlich könnte man eine Krankenversicherung entwickeln, die den Männern Versicherungsschutz bietet für die von ihnen verursachten Schwangerschaften. Dann müsste dort eine entsprechende Zuschlagsprämie einkalkuliert werden. Den Versicherungsschutz über die Frauenpolice zu gewähren, die Prämie aber hälftig den Männern anzulasten, war nun wirklich ein sehr origineller Vorschlag, trotzdem oder gerade deshalb hatte er Erfolg: Der Rat der Europäischen Union hat am 13. Dezember 2004 die Richtlinie 113 erlassen. Danach müssen die Kosten im Zusammenhang mit der Schwangerschaft gleichermaßen auf Männer und Frauen umgelegt werden.

Es kam aber noch besser, wie ich an meinem letzten Beispiel zeigen will, diesmal aus der Lebensversicherung. Hierbei kommt nun auch Leibniz ins Spiel. Ihn interessierten die mathematischen Aspekte der Lebensversicherung, er untersuchte deren Bausteine, nämlich Lebenserwartung und Zinseszinsrechnung, und er stand in einem regen Schriftwechsel mit Jakob Bernoulli, der erstmals das Gesetz der großen Zahlen und damit die Grundlage der Wahrscheinlichkeitsrechnung formuliert hatte. Den entscheidenden Schritt, nämlich die Aufstellung einer auf empirische Daten und Wahrscheinlichkeitsrechnung gegründeten Absterbeordnung, ging Leibniz allerdings nicht. Für eine solche Sterbetafel, die wichtigste Kalkulationsgrundlage jeder Lebensversicherung, hatte erstmals der Pastor Kaspar Neumann aus Breslau geeignete statistische Daten gesammelt. Leibniz gab die Unterlagen weiter an die Londoner Akademie der Wissenschaften. Auf dieser Grundlage entwickelte der Astronom und Mathematiker Edmund Halley die ersten Sterbetafeln.

Heute ist die Lebensversicherung die Versicherungssparte mit dem besten statistischen Fundament, schließlich gehen die Zahlen der Gesamtbevölkerung in die Statistik ein. So wissen wir, dass Frauen eine um fünf Jahre höhere Lebenserwartung haben als Männer. Dieses Faktum ist völlig unbestritten. So sollte doch eigentlich auch klar sein, dass die Prämie für eine Rentenversicherung für Frauen höher sein muss als für Männer, denn Frauen beziehen ja im Durchschnitt die Leistungen fünf Jahre länger. Eigentlich selbstverständlich, doch weit gefehlt: Am 1. März 2011 hat der Europäische Gerichtshof entschieden, dass die bisherige Praxis, die Beiträge bei bestimmten Versicherungen auch hinsichtlich des Geschlechts der Versicherten zu berechnen, gegen die Gleichstellungsrichtlinie verstößt. Den Versicherern wurde aufgegeben, die geschlechtsabhängigen Tarife durch die sogenannten Unisex-Tarife abzulösen.

Judex non calculat. Höhere Prämien sind diskriminierend. Höhere Leistungen werden billigend in Kauf genommen.

Was hätte wohl der große Leibniz zu diesem allen gesagt? Ich schließe mit einem versöhnlichen Zitat:

Welcher allezeit tut, was der Verstand ihm anweist,
der kann stets im Gemüt sich vergnügen befinden.

Horst Zuse

Der lange Weg zum Computer: Von Leibniz' Dyadik zu Zuses Z3

Für die Geschichte des Computers ist das Jahr 2016 ein ganz besonderes Jubiläumsjahr: Vor 75 Jahren, am 12. Mai 1941, stellte der Ingenieur Konrad Zuse (1910–1995) in der Methfesselstraße 7 in Berlin-Kreuzberg die Z3 vor – den ersten funktionsfähigen Computer der Welt. Damit setzte Konrad Zuse technisch (und in der Tat wesentlich umfassender konzipiert) das um, wofür knapp dreihundert Jahre zuvor Gottfried Wilhelm Leibniz (1641–1716) die ersten Denkanstöße gegeben hatte. Seit 1679 hatte Leibniz, der letzte große Universalgelehrte, dessen 370. Geburtstag und 300. Todestag wir 2016 ebenfalls feiern, die Idee einer auf dem dualen Zahlensystem basierenden „*Machina Arithmeticae Dyadicae*“ verfolgt und damit die theoretische Grundlage für die Konstruktion binärer Rechenmaschinen – den Vorläufern der heutigen Computer – geschaffen (Stein/Popp 2006: 63).

Wie Eberhard Knobloch im vorliegenden Band in seinem Beitrag über die Prioritätsstreitigkeiten zwischen Leibniz und Newton über den Ursprung der Differential- und Integralrechnung

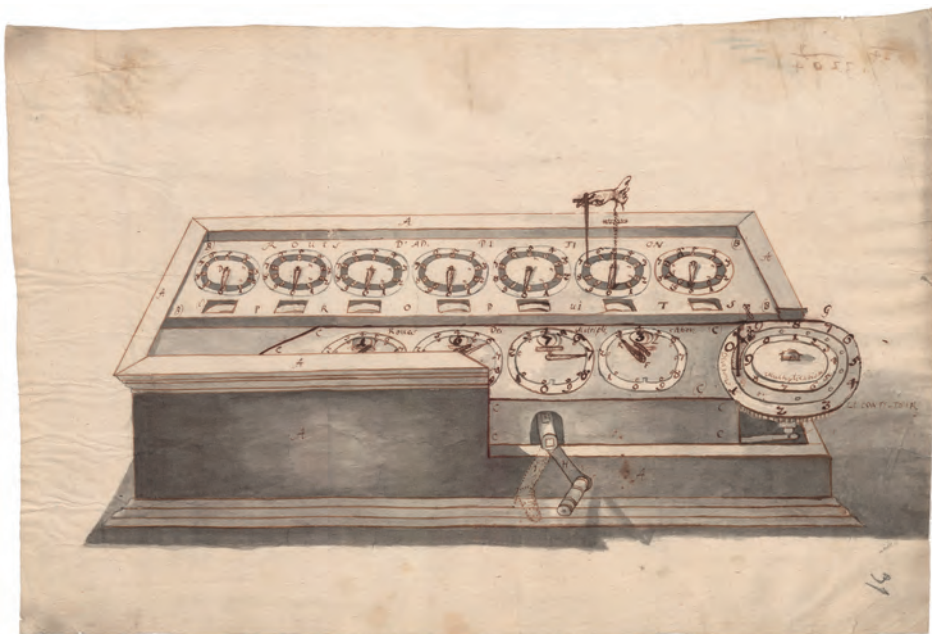


Abbildung 1. Zeichnung der Leibniz'schen „Lebendigen Rechenbanck“, 1673

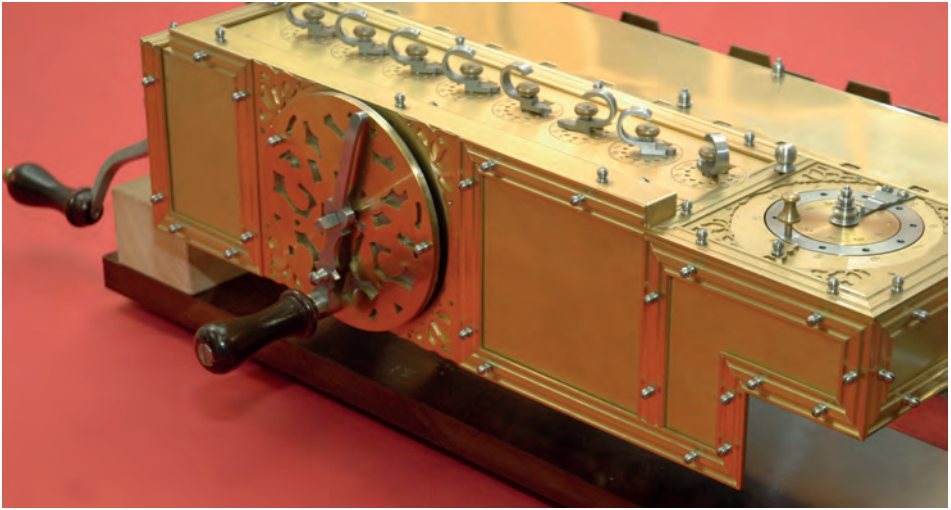


Abbildung 2. Nachbau der Leibniz'schen Rechenmaschine, 1988–1990, unter der Leitung von Nicolaus Joachim Lehmann konstruiert an der TH/TU Dresden im Auftrag der Akademie der Wissenschaften der DDR

in den 1670er Jahren darlegt (Knobloch 2016), entstehen wissenschaftliche und technische Erfindungen oftmals parallel und nahezu unabhängig voneinander, d. h. ohne direkten Einfluss oder in Unkenntnis vorheriger oder gleichzeitig entwickelter ähnlicher Ideen. Dennoch arbeiten natürlich weder Leibniz noch Zuse im luftleeren Raum und beide müssen innerhalb der wissenschaftlichen und technologischen Diskurse ihrer Zeit betrachtet werden (Mackensen 2007: 86 ff). So herrschte beispielsweise zu Leibniz' Zeit ein reges Interesse an der Erfindung von komplexeren Recheninstrumenten, die über die seit Antike und Mittelalter verwendeten Rechenbretter, -tücher, -steine, -scheiben, -stäbe und -schieber hinausgingen (Stein 2010: 110). Die durch John Napier erfundenen Logarithmen ermöglichten die Konstruktion der ersten Rechenmaschinen von Wilhelm Schickard (1592–1635) und Blaise Pascal (1623–1662); und ohne dass ein direkter Bezug zu seinen Vorgängern nachweisbar wäre, begann auch Leibniz 1671 mit der Entwicklung einer auf dem Dezimalsystem basierenden „Lebendige[n] Rechenbanck“, mit deren Hilfe „alle Zahlen sich selbst rechnen, addiren subtrahiren multipliciren dividieren [...]“ lassen sollten (zitiert nach Mackensen 2007: 91).

Wenn auch das Interesse an der Rechentechnologie während des 18. Jahrhunderts stetig zunahm, der eigentliche technologische Durchbruch und die serielle Herstellung von Rechenmaschinen erfolgten erst im Laufe des 19. Jahrhunderts insbesondere mit der Etablierung der Elektrotechnik (Mackensen 2007: 100). Dies trifft auf Konrad Zuse mit der Entwicklung der Z1 (1936–38) nur sehr bedingt zu. Die Z1 war eine komplett mechanische Lösung, nur ein Elektromotor (Staubsaugermotor) bewegte die mechanischen Teile. Für die Entwicklung der Z3 stellte dann auch im frühen 20. Jahrhundert die Elektrotechnik eine der grundlegenden Voraussetzungen für Konrad Zuses Entwicklung des Computers dar, der ohne elektrische Schaltmechanismen nicht denkbar gewesen wäre. Ähnlich wie Leibniz verfolgte auch der junge Zuse seine Ideen vorerst in

relativer Unabhängigkeit. So wurde er sich oftmals erst nach der Ausarbeitung eigener Gedanken über die historischen Vorreiter bewusst: dies galt sowohl für das Aussagenkalkül, als auch für die Boolesche Algebra und Babbages Ausführungen über den Bau von programmgesteuerten Rechengeräten seit den 1830er Jahren (Zuse 1993: 42).

Zuse und Leibniz

Was Konrad Zuse mit Leibniz verband, war seine ausgeprägte Lust am Erfinden und das Bestreben, seine Erfindungen praktisch umzusetzen. Immerhin gab der fünfundzwanzigjährige Zuse 1935, kurz nach seinem Studienabschluss an der Technischen Hochschule Berlin, eine feste Anstellung bei den Henschel-Flugzeug-Werken auf, um sich „ganz dem Computer widmen“ zu können (1933: 30). Schon als Student hatte sich Zuse ganz im Sinne des Leibniz'schen Mottos „Theoria cum Praxi“ (vgl. Gethmann 2016) darum bemüht, theoretische Überlegungen an ihrer Anwendbarkeit zu orientieren und damit die Arbeits- und Lebensbedingungen der Menschen zu verbessern. Von Film, Theater und Dichtung angeregt und mit viel Phantasie ausgestattet, versuchte er Alltagsprobleme zu lösen, wie z. B. die Steuerung der Ampelschaltungen im Straßenverkehr zur Erzielung einer „grüne Welle“, die Mechanisierung der Fotoentwicklung, die Optimierung von Filmprojektionen im Kino sowie Kassen-, Wiege- und Verkaufsautomaten. Er beschäftigte sich sogar mit der Eroberung des Weltraums – überall begegnete dem jungen Zuse Verbesserungsbedarf (Zuse 1993: 14). In diesem Zusammenhang steht auch das Anliegen, das den Ingenieur auf den hürdenreichen aber schließlich erfolgreichen Wegen hin zu seinem selbsterklärten Lebensziel, dem Computer, stets begleitete: nämlich „systematische Schritte in Richtung einer Intelligenzverstärkung zu tun“ (1933: 31).



Abbildung 3. Konrad Zuse 1935 an seinem Schreibtisch in der Wrangelstraße 37 in Berlin-Kreuzberg

Dass sich Konrad Zuse ganz bewusst in eine Traditionslinie mit Leibniz stellte, macht er über die Jahre hinweg wiederholt deutlich. So schreibt er in seiner Autobiographie *Der Computer – Mein Lebenswerk* (1993), dass die Vorgeschichte des Computers im 17. Jahrhundert und zwar bei Leibniz anfangs, „der, neben Schickard und Pascal, einer der Pioniere des Rechenmaschinenbaus war, der das Zahlensystem mit der Basis 2 mathematisch entwickelte und der die ersten Ansätze einer symbolischen Logik schuf [...]“ (1933: 30). Zuse fand demnach bei Leibniz die drei Grundkomponenten des Computerbaus vor: die Technik der Rechenmaschine, das dyadische Zahlensystem und die daraus abgeleitete Aussagenlogik bzw. das Aussagenkalkül, wonach Aussagen allein nach dem dualen Prinzip „wahr“–„falsch“ hergeleitet werden. Bereits 1937 hatte Zuse die Wahl des Begriffs „Dyadik“ für sein Konzept der Bedingungskombinatorik explizit auf Leibniz zurückgeführt (Zuse 1937: 1).

Was auf den ersten Blick für Zuse weniger interessant gewesen zu sein scheint, ist die metaphysische Reichweite der Leibniz'schen Dyadik. So schreibt Leibniz 1697 in einem Brief an den Herzog von Braunschweig-Wolfenbüttel, Rudolf August, dass das duale Zahlensystem als „Imago Creationis“, d. h. als Sinnbild der christlichen Schöpfungslehre zu verstehen sei:

Wunderbarer Ursprung aller Zahlen aus 1 und 0, welcher ein schönes Vorbild des Geheimnisses der Schöpfung gibt, da alles aus Gott und sonst aus Nichts, entstehe: *Essentiae Rerum sunt sicut Numeri*.

Auf einem Entwurf für eine Medaille zu Ehren des Herzogs fasst er diese dyadische Verhältnismäßigkeit in folgendem Vers zusammen: „Omnibus ex nihilo ducendis sufficit unum“ [Um alles aus dem Nichts zu machen, genügt eins] (Stein 2010: 7–8; Breger 2004: 491).

Leibniz hielten diese großen philosophischen Entwürfe bekanntlich nicht davon ab, beständig nach konkreten Umsetzungen seiner theoretischen Überlegungen zu suchen. So beschrieb er 1679 in der zu seinen Lebzeiten unveröffentlichten Schrift *De Progressione Dyadica* (1679) die mögliche Konstruktion einer auf dem Dualsystem beruhenden Rechenmaschine:

Diese Art Kalkül könnte auch mit einer Maschine umgesetzt werden. [...] Eine Büchse soll so mit Löchern versehen sein, dass diese geöffnet und geschlossen werden können. Sie sei offen an den Stellen, die jeweils 1 entsprechen, und bleibe geschlossen an denen, die 0 entsprechen. Durch die offenen Stellen lasse sie kleine Würfel oder Kugeln in Rinnen fallen, durch die anderen nichts. Sie werde so bewegt und von Spalte zu Spalte verschoben, wie die Multiplikation es erfordert. Die Rinnen sollen die Spalten darstellen, und kein Kügelchen soll aus einer Rinne in eine andere gelangen können, es sei denn, nachdem die Maschine in Bewegung gesetzt ist. Dann fließen alle Kügelchen in die nächste Rinne, wobei immer eines weggenommen wird, welches im Loch bleibt, sofern es allein den Ausgang passieren will. Denn die Sache kann so eingerichtet werden, dass notwendig immer zwei zusammen herauskommen, sonst sollen sie nicht herauskommen. (zitiert nach Mackensen 2007, 98)

Für Leibniz' Zeit mutet dieses Konstruktionsprinzip fast futuristisch an, und es verwundert wenig, dass es zu seinen Lebzeiten nicht realisiert wurde. Die Schrift verschwand in den Archiven, wo sie erst 1968 von Ludolf von Mackensen entdeckt und aus dem Lateinischen übersetzt wurde. Dieser ließ 1971 auf Leibniz' Grundlage vom Deutschen Museum München eine 7/12/5-stellige binäre Rechenmaschine mit einem Kugelaufmechanismus bauen. Ein zweites Modell wurde von Erwin Stein in den Jahren 2003 und 2005 konstruiert und gebaut.



Abbildung 4. Duale Rechenvorrichtung nach Gottfried Wilhelm Leibniz (Nachbildung gebaut von Rudolf von Mackensen, 1972)

Auch wenn Zuses binäre Rechenmaschine Z3 letztlich auf einer anderen technischen Implementation beruhte – nämlich auf einer elektrisch gesteuerten Schaltalgebra anstatt des Kugelablaufmechanismus, so liegt doch beiden die binäre Logik zugrunde. Zuse übersetzte das von Leibniz formulierte Dualitätsprinzip „1“–„0“ bzw. „ja“–„nein“, „wahr“ – „falsch“ oder eben „Kugel da“–„Kugel nicht da“ in das elektrische und später elektronische Schaltprinzip „an“–„aus“ (Stein/Kopp 2010: 14). Als Konrad Zuse 1936 diese Methodik auf seine zunächst noch mechanisch funktionierende Z1 anwandte, revolutionierte er die Rechenmaschinenteknik.

Die Zuse-Rechner Z1–Z4

Von 1936 bis 1945 entwickelte Konrad Zuse die Rechner Z1–Z4 und die beiden Sondergeräte S1 und S2. Während der Jahre 1936 bis 1938 entwickelte und baute Konrad Zuse in der elterlichen

Wohnung in der Wrangelstraße 37, Berlin-Kreuzberg, mit dem Z1 den ersten binären, digitalen Computer der Welt. Ein Nachbau dieses mechanischen Rechners ist seit 1989 im Deutschen Technikmuseum Berlin zu sehen. Zum Bau von damals üblichen elektrischen Rechenmaschinen, häufig auch automatische Rechner genannt, wurden Universalrechenwerke oder mehrere Spezialrechenwerke verwendet, die fast ausschließlich auf dem Dezimalsystem beruhten. Mit der Entwicklung einer „logistischen“, d. h. mit Ja-Nein-Werten operierenden, Rechenmaschine schaffte Zuse etwas technisch und konzeptionell vollkommen Neues (Wend 1963: 16 f). Die aus zwei Rechenwerken (Gleitkomma: Exponent und Mantisse) bestehende Maschine konnte weit mehr als Rechnen: Unter Anlehnung an das Aussagenkalkül ermöglicht die technische Umsetzung von logischen Operationen – wie z. B. Konjunktion, Disjunktion, Negation – dem Rechner, Entscheidungen zu treffen, und schafft damit die auch heute noch geltende Grundlage für elektronische Rechenmaschinen. Die ursprüngliche Z1 arbeitete jedoch nicht verlässlich. Ihre mechanischen Schaltglieder bestanden aus beweglichen Stiften und tausenden von beweglichen Metallplättchen, die mit einer Laubsäge hergestellt worden waren und mit einer Handkurbel zum Testen (Debuggen sagt man heute) und, wie gesagt, mit einem Staubsaugermotor für den regulären Betrieb angetrieben wurden. Der Datenspeicher funktionierte zwar, aber die Addierfunktion machte dadurch Probleme, dass sich Schaltelemente beim Verschieben verhakten. Der Grund für die Fehlfunktionen war das Addierwerk der Z1, welches durch einen einfachen Zusatz auch im 2. Komplement subtrahieren konnte. Die mechanische Realisierung des Übertrages von nur einem Takt bei der Addition- und Subtraktion bereitete die Schwierigkeiten: So war die Kombination aus Halb- und Volladdierer in der heutigen Notation mit der Reduzierung der Takte von sechzehn auf einen logisch elegant gelöst, aber mechanisch mussten in diesem einem Takt 16 Schaltglieder bewegt werden, was den Betrieb der Maschine äußerst anfällig machte.

Der nächste Rechner, den Konrad Zuse entwickelte, war die Z2. Hier kombinierte er den funktionierenden mechanischen Speicher der Z1 mit einem auf Relais-technik basierenden Rechenwerk. Mit den Relais, also elektrisch angetriebenen Schaltern, nutzte Zuse ein Prinzip, das im 19. Jahrhundert für die Telegraphie und Fernsprechvermittlung entwickelt wurde – am bekanntesten sicherlich in den nach Samuel F. B. Morse benannten Morseapparaten. Für seine Z2 verwendete Zuse insgesamt etwa 200 dieser Relais mit dem Ziel, die Zuverlässigkeit dieser Technologie zu testen. Mit der Fertigstellung der Z2, eines Prototyps für eine binäre Rechenmaschine mit „einem aus elektromagnetischen Relais aufgebauten Ganzzahlrechenwerk“ (Zuse 1993: 39) war es 1939 schließlich soweit, und die Z2 konnte vorgeführt werden.

Die Präsentation der Z2 hatte einen Vertrag mit der Luftfahrtbehörde über die Teilfinanzierung der bereits in Bau befindlichen und 1941 fertiggestellten Z3 zur Folge, dem Gerät, „das wirklich voll funktionsfähig alle wichtigen Elemente einer programmgesteuerten Rechenmaschine für wissenschaftliche Zwecke nach dem Stand der Technik enthielt“ (55). Der erste voll funktionsfähige programmgesteuerte, elektromechanische, digitale Computer der Welt, die Z3, wurde von Konrad Zuse am 12. Mai 1941 vor einer kleinen Runde von Fachleuten in der Methfesselstraße 7 präsentiert.

Am 21. Dezember 1943 wurde die Maschine zusammen mit der Z1, Z2 und Z3 jedoch bei Luftangriffen vollkommen zerstört. Erst viele Jahre später, 1961, konnte Konrad Zuse eine Kopie nachbauen. Zwei weitere Rekonstruktionen folgten in den Jahren 2001 (Raul Rojas) und 2010 (Horst Zuse).

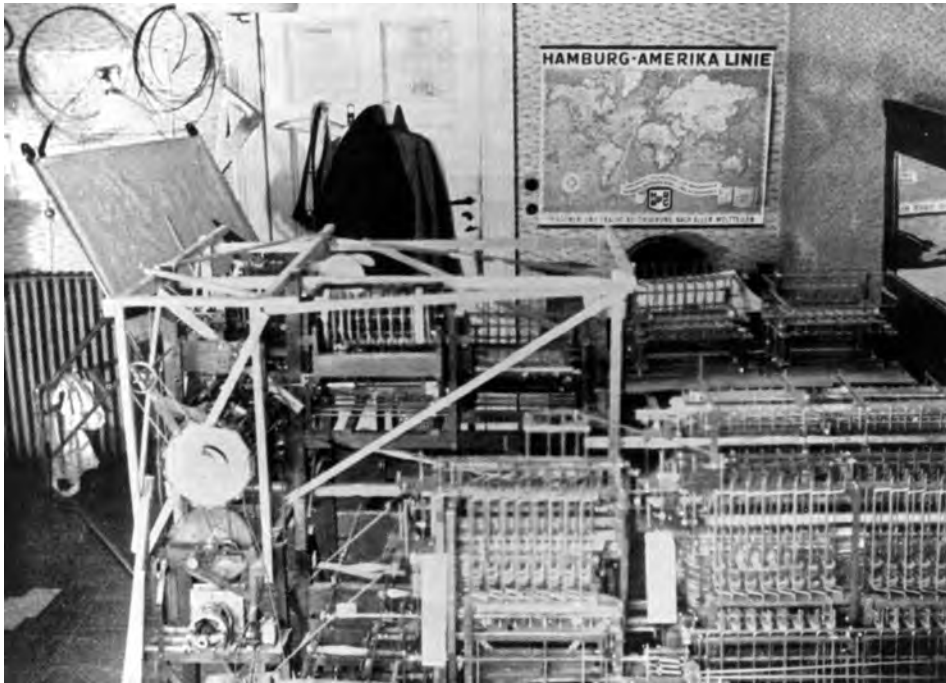


Abbildung 5. Konrad Zuses Z1 Rechenmaschine in der Wohnung seiner Eltern (1938)

Bevor ich näher auf die technischen Eigenschaften der Z3 und ihre historische Bedeutung eingehe, sei hier noch die Z4 erwähnt, die Konrad Zuse im Anschluss an seine Z3 konstruierte und die als einzige Zuse-Maschine den Krieg überstanden hat. Die Z4 war insofern eine technische Weiterentwicklung der Z3, als sie eine wesentlich größere Rechen- und Speicherkapazität hatte und in der Ausführung ausgefeilter war. Kurz vor der Fertigstellung musste die Maschine aufgrund von anhaltenden Luftangriffen von Berlin nach Göttingen transportiert werden, wo sie in den Laboratorien der Aerodynamischen Versuchsanstalt aufgestellt wurde. Dort stand sie nur für zwei Wochen, bevor sie im April 1945, kurz vor der Übernahme Göttingens durch die Alliierten, in das kleine Dorf Hinterstein im Allgäu, Bayern, überführt wurde. In Hopferau, wo Konrad Zuse von Oktober 1946 bis September 1949 lebte, spürte sie schließlich der Mathematiker Eduard Stiefel auf und holte sie 1950 leihweise an sein Institut für Angewandte Mathematik nach Zürich, wo sie bis 1955 zur Anwendung kam. Heute ist die Z4 ebenso wie der von Konrad Zuse durchgeführte Nachbau der Z3 im Deutschen Museum in München zu sehen. Dass Konrad Zuse in der Z4 die „finale“ Maschine sah und die ersten drei Maschinen bescheiden als Test- bzw. Versuchsmodelle betrachtete wird aus einem Brief an seine Eltern vom Spätherbst 1945 deutlich:

Aus unserer ersten Göttinger Zeit haben wir ja noch Nachricht geben können. Kurz vor Ostern war ich mit der Aufstellung des Gerätes fertig und konnte vor den Professoren der AVA die Maschine einwandfrei arbeitend vorführen. Es war dies der Moment, auf den ich etwa 10 Jahre gewartet

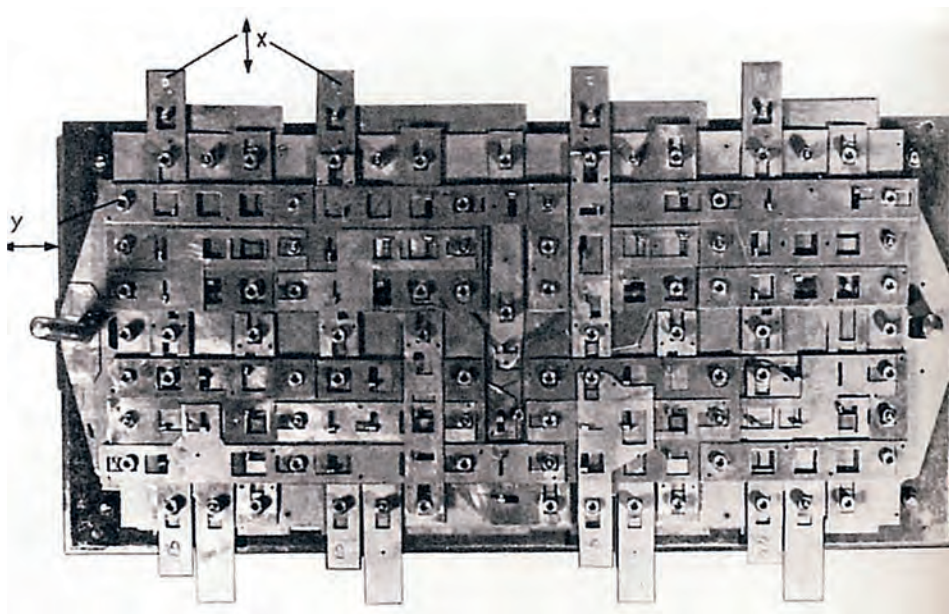


Abbildung 6. Versuchsmodell der Bleche der originalen Z1 von 1936

hatte, wo meine Arbeit endlich den gewünschten Erfolg brachte. Es war nun sehr tragisch, dass genau in diesen Tagen die Amerikaner bereits vor Kassel standen. Funk kam mit einem Lastwagen angerückt und erklärte sich bereit, uns alle und das Gerät irgendwo in den Südharz zu bringen. Da mir das Schicksal Göttingens unbekannt war und ich es für richtiger hielt, die Krisis nicht gerade in einer Stadt zu erleben, entschloss ich mich schweren Herzens das eben mit Mühe aufgebaute Gerät wieder abzubauen, in aller Eile zu verpacken und mit der ganzen Belegschaft abzureisen. (Zuse 1945)

Die Zuse-Rechner im Zeichen ihrer Zeit

Die Daten zeigen es an: Konrad Zuse entwickelte die ersten Modelle seiner Z-Maschinen während des NS-Regimes und des zweiten Weltkriegs. Angesichts dieser historischen Umstände drängt sich die Frage auf, in welcher Weise sich der junge und ambitionierte Ingenieur mit dem nationalsozialistischen System arrangierte. Auch wenn Zuse in seiner Autobiographie 1993 zugibt, gegen das „Trommelfeuer der Propaganda“ nicht vollkommen immun gewesen zu sein, distanziert er sich in seiner Autobiographie doch deutlich von der NS-Ideologie und schreibt seine Verbindungen zum Heereswaffenamt und zur deutschen Luftfahrt pragmatischen Überlegungen zu (1933: 49–53). Tatsächlich legt die biographische Faktenlage nahe, dass Zuse weniger von politischen Interessen geleitet war, als dass ihm an der Weiterentwicklung seiner Rechner gelegen war.

Wie oben bereits erwähnt, hatte Zuse bereits 1935 eine Anstellung bei den Henschel-Flugzeug-Werken gekündigt, um sich voll auf den Computerbau konzentrieren zu können, und auch seine Wiedereinstellung als Statiker für die Waffenentwicklung bei Henschel in den Jahren 1940–41 scheint nicht ideologisch motiviert gewesen zu sein. Seinen eigenen Ausführungen zufolge war dies der einzig erfolgreiche von vielen Versuchen, sich dem Militärdienst zu entziehen und die begonnene Arbeit an der Z2 und später der Z3 fortzusetzen – wenn auch nicht hauptberuflich. Erst nach Feierabend, unterstützt von Freunden und weiterhin im elterlichen Wohnzimmer, tüftelte Zuse an seinen Rechnern und baute schließlich ab 1941 seine Firma „Zuse Ingenieurbüro und Apparatebau, Berlin“ auf, ein Vorläufer der 1949 gegründeten „Zuse KG“. Das fachliche Interesse an seinen Computern stellte sich erst zögerlich ein und war lange auf einen kleinen Expertenkreis begrenzt. Man kann also sagen, dass Zuses Pionierarbeit zwar von Beginn an von privaten, politischen und wirtschaftlichen Verwicklungen geprägt war und zum Teil erheblich behindert wurde, dass sich aber sein leidenschaftlicher Erfindergeist – ähnlich dem von Leibniz – allen widrigen Umständen zum Trotz durchgesetzt hat.

Die Z3 – der erste Computer der Welt

Mit seiner Z3-Maschine, die er in den Jahren 1939 bis 1941 in der Methfesselstraße 7 in Berlin-Kreuzberg mit der Hilfe von einigen Freunden und geringer finanzieller Unterstützung durch die Regierung konstruiert hatte, wollte Konrad Zuse zeigen, dass es möglich ist, eine verlässlich arbeitende Maschine für sehr komplizierte arithmetische Kalkulationen zu bauen. Um Funktionssicherheit zu garantieren, verwendete er für die ganze Rechenmaschine das an der Z2 getestete Relaisystem. Wie schon die Z1 war auch die Z3 frei programmierbar und operierte auf der Grundlage eines binären Gleitkommazahlensystems. Damit gelang Zuse ein ingenieurtechnischer Geniestreich, der bis heute zu den wesentlichen Grundlagen der Computertechnik gehört.

Zwar hatte Charles Babbage mit seiner *Analytical Engine* bereits 1838 eine universell programmierbare Rechenmaschine entworfen (Bromley 1982: 197), aber erst 100 Jahre später gelang es Konrad Zuse, das Prinzip der freien Programmierbarkeit mittels Lochstreifen technisch zu implementieren. Im Gegensatz zu allen zuvor gebauten Rechenmaschinen – sowie den noch heute handelsüblichen, in Schulen verwendeten Taschenrechnern, deren Funktionen auf fest eingestellte Rechenoperationen beschränkt sind, kann der Nutzer bei den Zuse-Maschinen neue Befehlsfolgen bzw. Programme eingeben und speichern. Das heißt, zusätzlich zu den im Rechenwerk geführten vier Grundrechenarten Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division sowie der Quadratwurzelberechnung können individuell Rechenfunktionen hinzugefügt werden. Gesteuert und programmiert wird die Z3 über eine integrierte dezimale Ein- und Ausgabe-Konsole. Interessant ist dabei, dass sich bei der Z3 die Programme nicht im Datenspeicher, sondern auf einem Lochstreifen befinden.

Die eigentlich bahnbrechende Leistung der Z3 bestand darin, dass die Daten als dezimale Gleitkommazahlen ein- bzw. ausgegeben werden. Dieser „Trick“ ermöglichte die speicherplatzsparende Ausführung von Rechenoperationen über sehr große Zahlenbereiche. Zuse war bewusst, dass Ingenieure anwendungsabhängig mit sehr großen oder sehr kleinen Zahlen rechnen müssen.

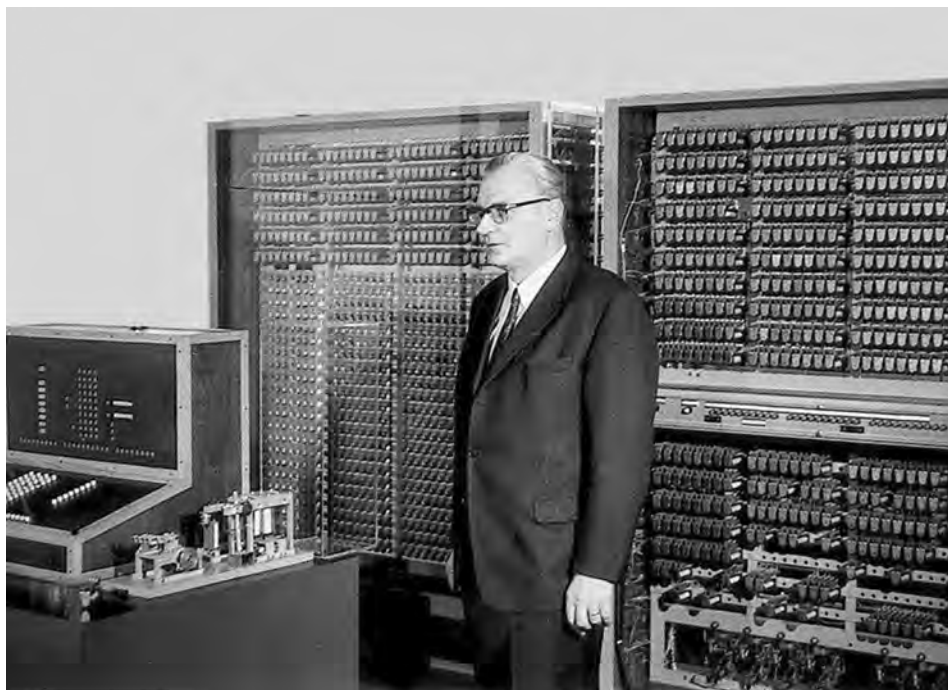


Abbildung 7. Der rekonstruierte Computer Z3 und Konrad Zuse, 1979. Der Speicher befindet sich links, rechts das Rechenwerk mit den Relais und Schrittschaltern. Links davor steht das dezimale Bedienungspult mit der arithmetischen Ausnahmebehandlung und dem Lochstreifen-Lesegerät.

Um dies in Festkommaarithmetik zu erlauben, müssen für alle benötigten Zahlen sehr große (und teure) Speicherplätze bereitgestellt werden. Die Idee der Gleitkommadarstellung besteht darin, eine Zahl durch eine (fest formatierte) Mantisse, die die signifikanten Werte repräsentiert, und einen Exponenten darzustellen. Entscheidet man sich z. B. für eine Exponentialdarstellung zur Basis 10 und eine Mantisse mit einer Stelle vor dem Komma und fünf Nachkommastellen, so würde man die Zahlen 0,000123456 und 6 543 210 000 in der folgenden Weise als Gleitkommazahl zur Basis 10 repräsentieren: 1,23456 mit Exponent -4 (also $1,23456 \times 10^{-4}$) bzw. 6,54321 mit Exponent $+9$ (also $6,54321 \times 10^9$), was erhebliche Speicherplatzeinsparungen erbringt. Zuse hat sich dann die effiziente technische Durchführung der Grundrechenarten mit binären Gleitkommazahlen (also Gleitkommazahlen mit der Basis 2) überlegt. Die dezimalen Gleitkommazahlen wurden daher in binäre Gleitkommazahlen umgewandelt, die Rechnungen wurden in binärer Gleitkommaarithmetik durchgeführt, und die Ergebnisse wieder in dezimale Gleitkommazahlen umgewandelt und ausgegeben. So gut wie alle heutigen Rechner machen das so!

Wie auch schon bei der Z1, führte die Anwendung der Gleitkommaarithmetik bei der Z3 dazu, dass bei einem Speichervolumen von 64 Worten (Zeichenketten) zu je 22 Bit (Binärziffern) ein Zahlenraum von immerhin 10^{20} bis 10^{20} zur Verfügung stand. Die Genauigkeit

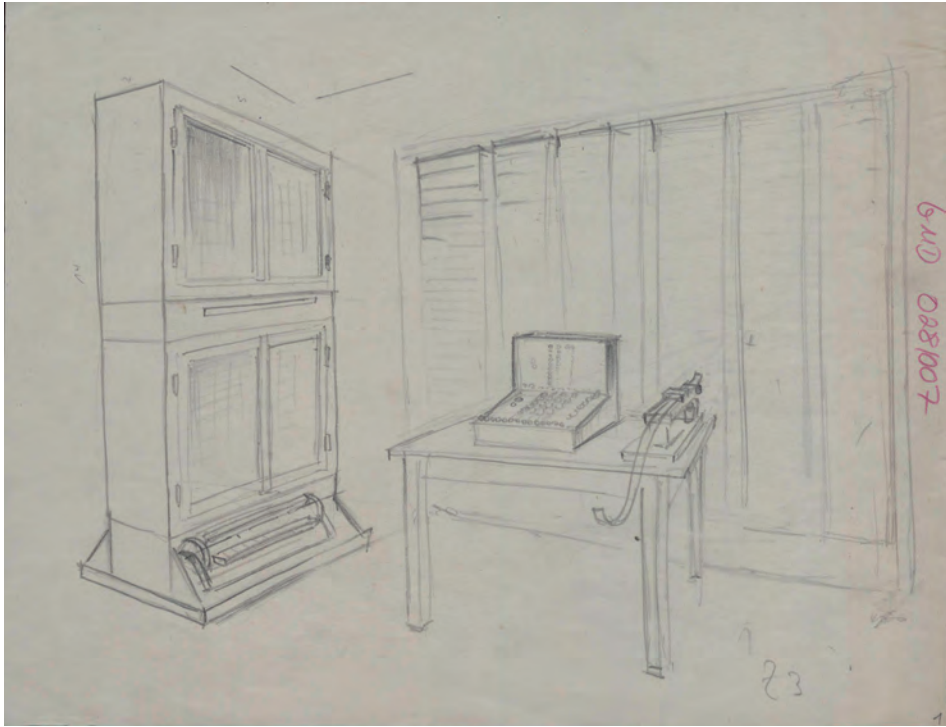


Abbildung 8. Zeichnung der Z3 von ca. 1938

betrug vier Dezimalstellen für die Mantisse, später bei der Z4 mit 32 Bit schon sechs Stellen.

Damit enthielt die Z3 bereits 1941, und im Prinzip auch schon 1938 die Z1, die wichtigsten Komponenten eines modernen Computers. Eine Ausnahme bestand in der noch fehlenden Fähigkeit, das Programm zusammen mit den Daten zu speichern. Konrad Zuse hatte diese Funktion noch nicht eingebaut, da ein Speicher von 64 Wort zu klein dafür war. Tausende von Anweisungen und Befehlen sollten in einer sinnvollen Anordnung berechnet werden können, und um die freie Programmierbarkeit zu gewährleisten, verwendete Zuse den Speicher ursprünglich nur für Zahlen. Dennoch sind die Errungenschaften der Z3 kaum zu überschätzen, bilden sie doch die Grundlage für die moderne Computertechnik.

In den Nachkriegsjahren wurden Konrad Zuses Leistungen wenig anerkannt. Die Z3 war zerstört, eingereichte Patente wurden nicht bearbeitet, Entwürfe und Baupläne waren verschollen und der Name Konrad Zuse war in Vergessenheit geraten. Seit 1946 feierte man in den USA die Weiterentwicklung des Computers durch John Eckart und John Mauchly und wenig später IBM – eine Erfolgsgeschichte, die noch immer im öffentlichen Bewusstsein fortlebt. Nur zögerlich wurde der abgerissene historische Faden wieder aufgenommen, als Konrad Zuse 1961 die Rekonstruktion seiner Z3 fertigstellte. Anlässlich des diesjährigen 75. Jubiläums der Z3 wollen

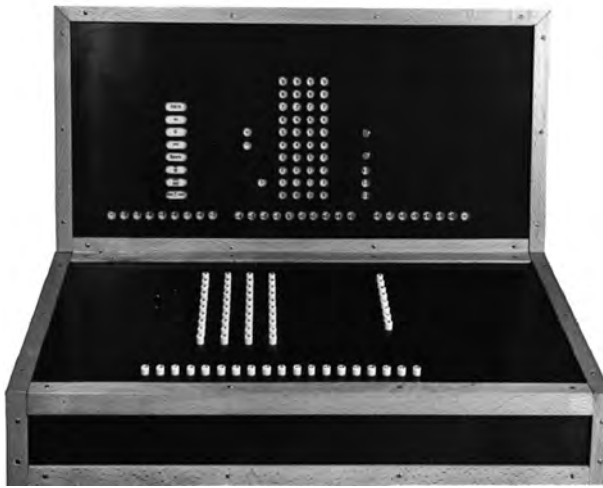


Abbildung 9. Das Ein- und Ausgabe-
werk der Z3. Die Zahlen konnten mit-
tels Tasten vorne eingegeben werden.
Es gab vier Tasten für die Mantisse,
eine für das Vorzeichen und siebzehn
Tasten für den Exponenten (von -8
bis $+8$). Das Resultat wurde mit Hil-
fe von Lampen analog zur Eingabe
angezeigt. Links oben sieht man die
arithmetische Ausnahmebehandlung.

wir an den eigentlichen Pionier der Computertechnologie erinnern und folgen der prägnanten Einschätzung des derzeitigen Direktors des Konrad-Zuse-Zentrums für Informationstechnik Berlin, Christof Schütte:

Revolutionär war, dass mit dem Z3 die Grundkomponenten des Computers, die Logik und das Rechnen, ingenieurmäßig in einem Gerät zusammengeführt wurden. Das digitale Konzept dahinter – nämlich alle Zahlen als Nullen und Einsen und jede logische Operation nur als wahr oder falsch darzustellen, das hat Zuse nicht erfunden. Aber er war der Erste, der es in eine Maschine mit binärer Gleitkommaarithmetik umgesetzt hat.

Der Computer als mechanisches Gehirn

Dass Konrad Zuse bei allen technischen Detailfragen und konkreten Anwendungsproblemen zumindest zu Beginn seiner Arbeit am Computer auch von großen Fragen geleitet war, zeigen Tagebuchaufzeichnungen aus dem Jahr 1937. Dort bedient er sich physiologischer Metaphern, mit denen er sich indirekt auch dem Leibniz'schen Weltbild verschreibt. So notiert er am 20. Juni:

Tagebuch:

Mechanisches Gehirn:

Seit etwa einem Jahr beschäftige ich mich mit dem Gedanken des mechanischen Gehirns.

Erste Gedanken: Im Anschluß an die Rechenmaschine. Herstellung von Rechenplänen nach Anweisungen. Mathematisches Gehirn: Differenzierung. Sprachhirn. Übersetzen, Schreiben usw.

Erste produktive Gedanken für Einzelheiten: April 37. Erkenntnis der Bedingungsketten. Auflösung aller Operationen in Bedingungsketten. Die Idee kam mir beim Entwurf des Leitwerks der Rechenmaschine im Sekundalsystem. (Ist das und das der Fall, so muß das und das geschehen.) (Zuse 1993: 41)

Zunächst scheint es, als würde Zuse mit seiner Analogie zwischen Gehirn und Rechenmaschine einem mechanistischen Weltbild folgen. Bei der genauen Lektüre zeigt sich aber, dass die Analogie trotz aller behaupteten Strukturähnlichkeit eine Differenz zwischen menschlicher Physiologie und technischem Apparat impliziert: Die Rechenmaschine wird nicht einfach mit dem menschlichen Organ gleichgesetzt, sondern sie ist eben ein *mechanisches* Gehirn. Dabei liegt der Vorteil des künstlichen Instruments in seiner Funktionsspezialisierung und der damit verbundenen Effizienzsteigerung, wie dann auch weiter unten ausgeführt wird: „Dementsprechend muß für jede zu lösende Aufgabe ein Spezialhirn möglich sein, das diese möglichst schnell löst.“ (41) Und das wäre vereinbar mit den Überzeugungen von Leibniz, für den die Mathematik – und eben auch die Dyadik – nicht nur metaphysisches Prinzip, sondern in erster Linie ein künstliches Zeichensystem zur Vereinfachung des Rechnens war und als „lingua universalis“ die Verständigung unter Wissenschaftlern erleichtern sollte (Mittelstraß 1978: 603; Mittelstraß 2011: 313).

Die binäre Rechenmaschine stellte für Leibniz die damals noch nicht realisierbare Anwendung der einfachen dualen Relationen auf die Rechentechnik dar. In diesem Sinne versprachen sich Zuse und Leibniz letztlich Ähnliches von der binären Rechentechnik: Leistungssteigerung durch eine spezifische technische Implementierung der Arithmetik – und die bestand eben hauptsächlich in der Einschränkung der Möglichkeiten auf ja/nein-Werte, die die Ausführung der Rechenschritte erheblich vereinfachen und damit die Rechengeschwindigkeit deutlich beschleunigen. Dass dies heute nicht mehr nur die Idee Einzelner, sondern die Realität von uns allen geworden ist, liegt auf der Hand: Digitalität ist uns Gegenwart und Zukunft und bestimmt unser Denken, Handeln und Zusammenleben mittlerweile in einem so umfassenden Maße, dass die Geschwindigkeit und die Reichweite der Veränderungen zuweilen in Vergessenheit geraten. Schon allein deshalb ist es wichtig, sich an die historischen Wurzeln unseres Zeitalters zu erinnern, bei denen die radikalen Ideen noch als solche erkennbar sind.

Abbildungsnachweise

Abb. 1. Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek, LH XLII, 5, Bl 31r

Abb. 2. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

Abb. 3. Konrad Zuse Internet Archiv (<http://zuse.zib.de>)

Abb. 4. Deutsches Museum München, Inventar-Nr. 79895

Abb. 5. Konrad Zuse Internet Archiv (<http://zuse.zib.de>)

Abb. 6. Horst Zuse

Abb. 7. Horst Zuse

Abb. 8. Konrad Zuse Internet Archiv (<http://zuse.zib.de>)

Abb. 9. Horst Zuse

Literatur

- Breger, Herbert (2004). "God and Mathematics in Leibniz's Thought". In: *Mathematics and the Divine: A Historical Study*. Hrsg. von Teun Koersier, Luc Bergmans. Amsterdam: Elsevier, S. 485–498.
- Bromley, Allen G. (1982). "Charles Babbage's Analytical Engine, 1838". In: *Annals of the History of Computing*, 4 (2), S. 197–217.
- Gethmann, Carl Friedrich (2016). „Theoria cum praxi. Die exoterischen Aufgaben der wissenschaftlichen Akademien“. In: *Vision als Aufgabe. Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert*, Hrsg. von Martin Grötschel et al. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, S. 33–45.
- Goldbach, Wend (1963). „Die Zuse Z3 und ihre Bedeutung für die moderne Rechentechnik“. In: *Zuse Forum* 3.
- Knobloch, Eberhard (2016). „Originalität, Priorität und Reputation: Leibniz und Newton“. In: *Vision als Aufgabe. Das Leibniz-Universum im 21. Jahrhundert*, Hrsg. von Martin Grötschel et al. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, S. 85–95.
- Mackensens, Ludolf von (2007). „Die ersten dekadischen und dualen Rechenmaschinen“. In: *Gottfried Wilhelm Leibniz – Philosoph Mathematiker, Physiker, Techniker*. Hrsg. von Erwin Stein, Peter Wriggers. Leibniz Universität Hannover, S. 85–100.
- Mittelstraß, Jürgen (2011). *Leibniz und Kant. Erkenntnistheoretische Studien*. Berlin/Boston: de Gruyter.
- (1979). "The Philosopher's conception of Mathesis Universalis from Descartes to Leibniz". In: *Annals of Science* 36 (6), S. 593–610.
- Rojas, Raúl (1997). "Konrad Zuse's Legacy: The Architecture of the Z1 and the Z3". In: *Annals of the History of Computing* 19 (2), S. 5–16.
- Stein, Erwin und Popp, Franz-Otto (2006). „Calculus! Neue Hannoversche Funktionsmodelle zu den Rechenmaschinen von Leibniz“. In: *Leibniz – Auf den Spuren des großen Denkers. Unimagazin Hannover* 3 (4), S. 60–63.
- (2010). „Konstruktion und Theorie der leibnizschen Rechenmaschinen im Kontext der Vorläufer, Weiterentwicklungen und Nachbauten“. In: *Studia Leibnitiana* 42 (1), S. 1–128.
- Schiller, Jochen und Schütte, Christof (2016). „Die Gefahr liegt in der Komplexität der Systeme“. Die Erfindung des Computers revolutionierte die Welt. Ein Gespräch mit den Professoren und Informatikexperten Christof Schütte und Jochen Schiller über Chancen und Risiken der Digitalisierung“. URL: <http://www.fu-berlin.de/presse/publikationen/tsp/2016/tsp-april-2016/zuse-jubilaum/gefaher-komplexitaet-der-systeme/index.html> (besucht am 28. 6. 2016).
- Zuse, Horst (2007). *Konrad Zuse Multimedia Show*. URL: <http://www.horst-zuse.homepage.t-online.de/cd-zuse.html> (besucht am 7. 10. 2016).
- (2010). Konrad Zuses Werk. URL: <http://www.horst-zuse.homepage.t-online.de/zuse-broschuere.html> (besucht am 7. 10. 2016).
- (2016). Die Rechenanlage Z3 – Erster Computer der Welt. URL: <http://www.horst-zuse.homepage.t-online.de/Z3-praegnant-final-final-2016.pdf> (besucht am 7. 10. 2016).
- Zuse, Horst und Lorenz Hanewinkel (2009). Konstruktion und Bau der Röhrenmaschine Zuse Z22. URL: <http://www.horst-zuse.homepage.t-online.de/z22-konstruktion.html> (besucht am 7. 10. 2016).
- Zuse, Konrad (1938). „Einführung in die allgemeine Dyadik. Vorentwurf zur Schaltungsmathematik“. In: *Konrad Zuse Internet Archive*, Document ZIA ID: 0237.
- (1945). Brief von Konrad Zuse am 11. November 1945 an seine Eltern in Berlin (aus Hinterstein). URL: <http://zuse.zib.de/collection/1rUAFkDKirW8o3gT/item/GKxbgjQo9t4XodpO> (besucht am 4. 10. 2016).
- (1993). *Der Computer – Mein Lebenswerk*. Berlin: Springer-Verlag.

Macht, Suggestivität, Grenzen und Risiken der Datenanalyse in den Zeiten von Big Data

1 *Prolog: Datenanalyse zur Zeit von Leibniz*

Schon seit langer Zeit lernen wir aus Daten. Der generelle Prozess ist immer der gleiche: In einem ersten Schritt werden in möglichst systematischer Form Daten erhoben. Das kann durch reine Beobachtung des zu untersuchenden Systems geschehen, oder auch in einem kontrollierten Experiment, das systematisch Randbedingungen für die Beobachtungen und gezielte Eingriffe in das System festlegt. In den so erhobenen Daten wird dann in einem zweiten Schritt nach bedeutungsvollen Mustern gesucht. Diesen Prozess nennt man Datenanalyse. Die aufgedeckten Muster werden dann interpretiert; so werden Gesetzmäßigkeiten abgeleitet. Häufig endet der Wissensgenerierungsprozess an dieser Stelle. Im besten aller Fälle wird jedoch nach Aufdeckung der Gesetzmäßigkeiten in einem dritten Schritt nach kausalen Zusammenhängen gesucht, die die Gesetzmäßigkeiten erklären, das heißt, auf fundamentalere Prinzipien zurückführen.

Hinweise auf systematische Sammlung und Analyse finden sich bereits bei den Babyloniern (Grasshoff 2012). Betrachten wir an dieser Stelle ein Beispiel, das häufig als eine der ersten systematischen Datenanalysen der Neuzeit angesehen wird. Es geht um die Erkenntnisgewinnung über die Bahnen der Planeten im Sonnensystem und die diesbezüglichen naturwissenschaftlichen Grundlagen. Der Prozess begann mit einer mehrere Jahrzehnte währenden peniblen Aufzeichnung der Koordinaten von Planetenbahnen durch den dänischen Astronomen Tycho Brahe (1546–1601). Johannes Kepler, der im letzten Lebensjahr von Tycho Brahe sein wissenschaftlicher Assistent war, hat nach dessen Tod seine Datensammlung weiter bearbeitet und im Jahr 1627 in den *Tabulae Rudolphinae* (Kepler 1627) veröffentlicht. Er widmete sich auch der Datenanalyse. Das Ergebnis waren die drei sogenannten Keplerschen Gesetze in den ersten Jahrzehnten des 17. Jahrhunderts (siehe vor allem Kepler 1609, 1619), die die Geometrie der Umlaufbahn eines Planeten sowie die Zusammenhänge zwischen seiner Umlaufgeschwindigkeit und dem Abstand von seinem Zentralgestirn mathematisch formulieren. Es ist wichtig, zu betonen, dass die drei Keplerschen Gesetze keine Erklärung für die gefundenen Formeln darstellen. Deswegen sprechen wir im Zusammenhang dieses Aufsatzes lieber von „Gesetzmäßigkeiten“ als von Gesetzen. Das sogenannte erste Keplersche Gesetz formuliert genau die Muster, die in den Daten von Tycho Brahe über die Form der Planetenbahnen und Umlaufgeschwindigkeiten aufzufinden waren. Keplers Begründung beruhte auf Renaissance-Vorstellungen über Kräfte und Seele, stellte aber einen Versuch zur Physikalisierung der Planetentheorie dar (Stephenson 1987). Wie wir im Folgenden sehen werden, ist schon die Auffindung solcher Muster in Daten höchst nützlich und kann in vielen Fällen die Grundlage für nachfolgende Entscheidungen und Strategien bilden. Im Fall der Planetenbahnen fand der Prozess der Wissensgewinnung hier (glücklicherweise und

bezeichnend für das Vorgehen in der Wissenschaft) kein Ende. Vielmehr hat Isaac Newton (1642–1727), der ein Zeitgenosse, Kollege und auch Kontrahent von Leibniz war, auf der Basis der Keplerschen Gesetze und anderer Beobachtungen sein Gravitationsgesetz abgeleitet und im Jahre 1687 in seinem Werk *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, kurz *Principia* genannt, veröffentlicht (Newton 1687). Das Gravitationsgesetz stellt eine fundamentale „Neuerklärung“ für die Keplerschen Gesetze dar. Genauer gesagt lassen sich die Keplerschen Gesetze aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz mathematisch herleiten. Das Newtonsche Gravitationsgesetz stellte in der Nachfolge die axiomatische Grundlage für die Himmelsmechanik dar. Das heißt, es wurde aus der Newtonschen Perspektive als gegeben und nicht weiter erklärungsbedürftig angenommen. Diese Lage hat sich erst mit der Entwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie im Jahre 1915 (Einstein 1916; 2009) durch Albert Einstein (1879–1955) geändert, aus der sich nun wiederum das Newtonsche Gravitationsgesetz (als Grenzfall für langsame Geschwindigkeit im Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit und schwache Gravitation) ableiten lässt.

2 Datenanalyse und Theoriebildung: Was ist anders bei Big Data?

Der im Prolog geschilderte Prozess ist ein Paradebeispiel für akkurat durchgeführte Datenanalyse, aber als Tabellenwerk mit insgesamt etwas über 250 Seiten sicher keines für Big Data. Bezeichnender als der Umfang der Datensammlung ist die Tatsache, dass die relevanten Muster, mathematisch formuliert in den Keplerschen Gesetzen, manuell von Johannes Kepler durch Sichtung der Datensammlung abgeleitet werden konnten. Die Datensammlungen, die heutigen Big Data Analysen zugrunde liegen, sind zum einen wesentlich umfangreicher. Zum anderen sind die in ihnen enthaltenen Muster häufig sehr komplexer Natur. Aus diesen beiden Gründen ist die Auffindung relevanter Muster in solchen Datenbeständen ohne Zuhilfenahme ausgeklügelter Algorithmen und Einsatz von Computern praktisch nicht mehr möglich.

Ein zweites historisches Beispiel führt uns in den Bereich der Big Data-Analysen. Hier beginnt die Datensammlung mit der Gründung eines Hochtechnologie-Instituts, nämlich der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin im Jahr 1887. Das Institut wurde zum Zwecke der Entwicklung und des Einsatzes hochpräziser Messinstrumente für die Industrieproduktion geschaffen. Ein Anwendungsziel war die präzise Messung von Lichtspektren, die von erhitzten Festkörpern ausgesandt wurden, die so genannte Schwarzkörperstrahlung. Anwendungshintergrund war die Produktion von Glühlampen mit kontrollierten Farbeigenschaften. Es dauerte knapp zehn Jahre, bis die Spektren mit einer Genauigkeit gemessen werden konnten, die Lücken im physikalischen Verständnis der zu Grunde liegenden Eigenschaften des Lichtes zu Tage treten ließen und damit die Geburtsstunde der Quantenmechanik einläuteten. Die Datensammlung wurde hier von Ingenieuren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt vorgenommen, die Datenanalyse unternahmen Physiker wie Wilhelm Wien und Max Planck. Max Planck führte zur Angleichung der Formel für das Spektrum der Schwarzkörperstrahlung an die gemessenen Spektren das Quantum ein (Planck 1900), das er selbst lange Zeit nicht erklären konnte. Hier handelt es sich also wiederum nicht um ein Gesetz, das das Muster im Sinne von kausalem Verständnis erklärt, sondern lediglich um eine Gesetzmäßigkeit im Sinne der Beschreibung eines beobachteten Musters. Es hat fast 30 Jahre gedauert, bis durch eine ganze Reihe von Physikern,

unter ihnen insbesondere Werner Heisenberg, Max Born und Paul Jordan auf der einen Seite (Heisenberg 1925; Born, Heisenberg und Pascual 1926; Born und Pascual 1925) sowie Erwin Schrödinger auf der anderen (Schrödinger 1926a, 1926b, 1926c, 1926d), im Jahr 1925 die theoretische Fundierung der Quantenmechanik bereitgestellt werden konnte. Seitdem haben wir in den Grundannahmen der Quantenmechanik eine axiomatische Grundlage für die inneratomaren physikalischen Vorgänge, aus denen sich die von Max Planck entdeckten Muster ableiten lassen.¹ Im Falle der Quantenmechanik setzte sich der Wissensgenerierungsprozess jedoch weiter fort. Jetzt übernahmen die Theoretiker die Führung, indem sie die Mathematik weiter trieben und mit Hypothesen über die subatomare Welt aufwarteten, die im Nachhinein durch aufwändige Messungen verifiziert oder falsifiziert werden konnten. So begann nach dem Zweiten Weltkrieg eine fieberhafte Suche nach Elementarteilchen, die durch theoretische Überlegungen hypothetisiert wurden und in zahlreichen Fällen mit dem Einsatz von Teilchenbeschleunigern nachgewiesen werden konnten.² Die Krönung dieses Prozesses ist derzeit wohl die Entdeckung des von Peter Higgs (und zeitgleich anderen Wissenschaftlern) im Jahr 1964 postulierten Elementarteilchens (Higgs 1964; Englert und Brout 1964; Guralnik, Hagen und Kibble 1964) im Jahr 2012 durch große Wissenschaftlerteams am Forschungszentrum CERN (Aad et al. 2012; Chatrchyan et al. 2012). Die umfangreiche Datensammlung und Datenanalyse, die zur Auffindung des Higgs-Teilchens führte, gehört ohne Zweifel in den Bereich von Big Data (Adam-Bourdarios et al. 2015).

In teilweiser Abweichung von den Kriterien, die landläufig für Big Data genannt werden,³ möchte ich hier folgende Vorbedingungen für Big Data-Sammlungen und -Analysen nennen.

- (i) Das Datenaufkommen muss sehr groß sein. Ich verlange hier nicht die Größe von Petabytes oder mehr, die häufig für den Begriff Big Data ins Feld geführt wird. Für die Zwecke dieses Aufsatzes reicht es, eine Größe anzunehmen, die eine Datenanalyse durch komplexe Computeralgorithmen erfordert.
- (ii) Die Datenanalyse muss der Engpass bei der Wissensgenerierung sein, nicht die Datengenerierung. Es ist ein Charakteristikum von Big Data-Analysen, dass uns die Daten mit vergleichsweise geringem Aufwand zur Verfügung stehen. Dies bedeutet eine Umkehrung gegenüber klassischer Datenanalyse, bei der in der Regel die Datengenerierung wesentlich komplexer und teurer ist als die Datenanalyse. Dies war definitiv im Fall von Tycho Brahe und auch im Fall der Entwicklung der Quantenmechanik so. Heute dagegen fallen uns Daten über Hochdurchsatzexperimente in der Wissenschaft und über das Internet im täglichen Leben in einem Umfang zu, den man als lawinenartig bezeichnen kann. Damit wird die Datenanalyse zum Engpass des Prozesses der Wissensgenerierung.
- (iii) Datenanalyse ist von Hand nicht mehr möglich. Dies trifft auf die beiden oben genannten Beispiele, die Ableitung der Himmelsmechanik und der Quantenmechanik, nicht zu.
- (iv) Durch mächtige statistische Verfahren, die man häufig auch als Data Mining oder maschinelles Lernen bezeichnet, sind mit Hilfe des Computers auch komplexe Muster in den Daten auffindbar. Damit ist die Anwendung statistischer Verfahren der wesentliche Schritt der Wissensgenerierung bei Big Data.

Big Data begegnet uns heute in allen Bereichen des Lebens und der Wissenschaft. Im täglichen Leben finden seit der Entstehung des Internets und durch die zunehmende Vernetzung der

Technologien massive Datensammlungen in den verschiedensten Bereichen statt. Daten werden gesammelt, wenn immer wir mit unserem Rechner ins Internet gehen, wenn wir fernsehen, wenn wir Auto fahren, wenn wir unser Handy benutzen, wenn wir Bankgeschäfte betreiben oder einkaufen. Im öffentlichen Leben werden unsere Spuren von Webcams erfasst. Haushaltsgeräte enthalten zunehmend vernetzte Intelligenz, und Vernetzung und Datensammlung setzen sich auch bei der Energieversorgung durch.

Desgleichen ist Big Data zunehmend ein wesentlicher Bestandteil von praktisch allen Wissenschaftsdisziplinen. Die Elementarteilchenphysik wurde bereits erwähnt. In der Astronomie werden detaillierte dreidimensionale Modelle des gesamten Universums und der in ihm enthaltenen Sterne und Galaxien entwickelt (Ivezić et al. 2012). Die Geo- und Umweltwissenschaften (Vitolo et al. 2015; Sellars et al. 2013; Guo, Zhang und Zhu 2015) sammeln eine Vielzahl von Daten über divergente Aspekte des Zustandes unseres Planeten und projizieren diese Daten in die Zukunft und in die Vergangenheit. In der Chemie werden sowohl umfassende Datenbanken über chemische Verbindungen und deren Eigenschaften gesammelt als auch durch quantenmechanische Berechnungen entstehende umfassende Datensätze weltweit zugänglich gemacht (Ghiringhelli et al. 2015; Lusher et al. 2014; Rajan 2015). Die Wirtschafts- und Sozialwissenschaften legen ihren Untersuchungen umfangreiche und vielseitige Datensammlungen zu Grunde (Hesse, Moser und Riley 2015; Levin und Einav 2014). Und der Zugang zu vollständiger genomischer Information war eine wesentliche Voraussetzung für die Wandlung von Biologie und Medizin in in hohem Maße durch molekulare Daten getriebene Wissenschaften (Pennisi 2010; Bernstein et al. 2012).

Über Big Data ist schon viel gesagt und geschrieben worden. Wir wollen uns auf einen besonderen wissenschaftsrelevanten Aspekt von Big Data-Analysen konzentrieren, nämlich das Spannungsfeld zwischen der Aufdeckung von Gesetzmäßigkeiten, die Muster beschreiben und von Gesetzen, die Muster erklären. Nach der Einführung des für diesen Diskurs grundsätzlichen Modellbegriffs werden wir dies an zwei Beispielen von modernen Datenanalysen in Biologie und Medizin tun.

3 *Mathematische Modelle: Vorhersagen und Erklärungen*

Gehen wir ein wenig genauer auf den Prozess der Generierung quantitativen Wissens aus Daten ein. Der zentrale Begriff in diesem Zusammenhang ist der des mathematischen Modells (Imboden und Koch 2008). Ein mathematisches Modell ist eine mathematische Vorschrift, mit der unter Bezugnahme auf wesentliche Parameter über einen begrenzten Ausschnitt der Wirklichkeit Vorhersagen über diesen Ausschnitt der Wirklichkeit getroffen werden können. Diese Vorhersagen sind in der Regel mit Ungenauigkeiten behaftet, die jedoch sehr unterschiedliche Größenordnungen annehmen können. Grundsätzlich gibt es für mathematische Modelle zwei Qualitätskriterien: Vorhersagegenauigkeit und Erklärungsvermögen. Das wesentliche Kriterium ist das der Vorhersagegenauigkeit. Ein Modell, das genaue Vorhersagen ermöglicht, ist einem Modell überlegen, das dies nicht tut. Wir streben nach Modellen mit hoher Vorhersagegenauigkeit und knüpfen die Tiefe unseres Verständnisses des betrachteten Ausschnittes der Wirklichkeit an die Vorhersagegenauigkeit der Modelle.

Ich möchte jedoch als zusätzliches Kriterium das des Erklärungsvermögens hinzufügen. Nicht jedes Modell, das eine hohe Vorhersagegenauigkeit hat, erklärt auch viel. Wie wir sehen werden, sind die meisten Modelle, die sich aus Datenanalysen im Big Data-Bereich ergeben, statistischer Natur: Sie treffen Wahrscheinlichkeitsaussagen über den Zustand eines Systems, gegründet auf seiner Beschreibung durch die verfügbaren Werte der im Allgemeinen sehr zahlreichen betrachteten Parameter. Zum Beispiel würde ein solches Modell auf der Basis von über einen Patienten erhobener medizinischer Information, darunter komplexer Information über sein Genom, eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit der Wirksamkeit eines Medikaments treffen. In vielen Fällen kann das Modell sogar eine Aussage über die Zuverlässigkeit seiner eigenen Vorhersage treffen. Bei komplexen Systemen ist die Vorhersage jedoch immer mit Unwägbarkeiten behaftet, und das Modell ist auch schwer zu verstehen – sein Erklärungsvermögen ist gering. Anders formuliert: Die Frage, warum das Modell im gegebenen Fall genau diese Vorhersage macht, bleibt oft unbeantwortet. Beides, die geringe Vorhersagegenauigkeit und das geringe Erklärungsvermögen, liegen daran, dass statistische Datenanalysen nur Assoziationen zwischen den zahlreichen Systemparametern – also die Häufung gemeinsam auftretender Werte verschiedener Parameter – aufdecken und keine kausalen Zusammenhänge nachweisen. Die Statistik stellt die Behelfslösung dar, mit der wir den Mangel an Verständnis des betrachteten Systems auszugleichen suchen. Wir behandeln nicht verstandene Aspekte als Streuung oder Rauschen, und das erhöht die Ungenauigkeit in unseren Vorhersagen und mindert das Erklärungsvermögen.

Wenn man bekannte kausale Abhängigkeiten im System in das mathematische Modell einbringen kann, kann man in der Regel die Genauigkeit der Vorhersage wesentlich erhöhen. Darüber hinaus bietet das Verständnis kausaler Zusammenhänge auch eine tiefergehende Erklärung der modellierten Sachverhalte. Kausale Zusammenhänge sind jedoch mit statistischen Methoden bis heute nur recht schwer nachzuweisen. Und sie sind in komplexen Systemen allgemein nur schwer aufzudecken. Wie wir noch sehen werden, ruht hierin eine der wesentlichen Problematiken der Datenanalyse bei Big Data.

Illustrieren wir diese Begriffe nun an dem Beispiel Brahe–Kepler–Newton. Der betrachtete Ausschnitt der Realität ist die Himmelsmechanik. Tycho Brahe stellte die Datensammlung zur Verfügung. Johannes Kepler entwickelte das erste mathematische Modell – die Keplerschen Gesetze. Dieses Modell ist nicht statistisch. Das Universum ist so „einfach“, dass hier tatsächlich im ersten Schritt deterministische Gleichungen eine sehr hohe Vorhersagegenauigkeit erbrachten – es trat kein wesentliches Rauschen auf. Dennoch sind die Keplerschen Gesetze eher beschreibend als erklärend: Es bleibt unklar, was die treibende Kraft der Himmelsmechanik ist. Diese Frage hat Newton beantwortet, indem er die Keplerschen Gesetze auf das von ihm formulierte Gravitationsgesetz zurückführte. Dieses Gesetz hat eine weit umfassendere Anwendbarkeit als die Keplerschen Gesetze und daher eine größere Erklärungskraft. Die Genauigkeit der Berechnung der Planetenbahnen erhöhte sich damit auch, weil der Einfluss mehrerer Körper aufeinander berücksichtigt werden kann – etwas, das die Keplerschen Gesetze nicht bieten. In einem weiteren Schritt hat Einstein mit seiner allgemeinen Relativitätstheorie sowohl die Genauigkeit der Vorhersagen erhöht als auch ihren Anwendungsbereich erweitert. Es ist interessant, zu bemerken, dass er dies im Wesentlichen ganz ohne komplexe Datenanalyse getan hat. Er nahm lediglich die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zum Ausgangspunkt für seine Gedankenexperimente.

In den weiteren Abschnitten werden wir das Wechselspiel zwischen Datenanalyse und Modellbildung an zwei Beispielen betrachten und dabei auf die in diesem Abschnitt eingeführten Begriffe und ihre Zusammenhänge zurückkommen.

4 *Biologie – Big Data vs. Naturgesetze: Wann und warum ist Big Data erfolgreich?*

Die Biologie ist ein für die Untersuchung unserer Fragestellung besonders geeignetes Gebiet, handelt es sich hierbei doch um eine Wissenschaft mit Zwittercharakter. Ziel der Biologie ist das Verständnis von lebenden Organismen in ihrer Funktion und ihren Wechselwirkungen. Zum einen ist dies eine Naturwissenschaft. Letztlich ist Leben ein molekularer Prozess. Lebende Organismen sind komplexe molekulare Systeme. Das Leben manifestiert sich in der Struktur und Dynamik dieser Systeme. Moleküle aber gehorchen den Naturgesetzen, die durch Physik und Chemie gegeben sind. Und in diesem Bereich gibt es ein hohes Maß an Theorie. Die entsprechenden Naturgesetze sind bereits sehr gut verstanden. Also ist die Biologie eigentlich nichts weiter als eine Chemie von speziellen hochkomplexen molekularen Systemen, die den bekannten Naturgesetzen folgen. Leider sind die betrachteten molekularen Systeme aber so komplex, dass das theoretische Verständnis nicht zu genauen Vorhersagen führt: Die Theorie anzuwenden übersteigt die verfügbaren Rechenressourcen bei weitem.

Auf der anderen Seite hat die heute zu beobachtende Biosphäre einen immens langen und komplexen Entwicklungsprozess hinter sich. Die heutigen Organismen sind evolutiv über Milliarden von Jahren entstanden. Dabei wurden extrem große Populationen einer hochkomplexen Umwelt ausgesetzt. Im Wechselspiel zwischen Variation und Selektion entstand die heutige Ausprägung des Lebens. Dieser evolutive Charakter des Lebens ist so grundlegend, dass er als eine eigene formative Kraft angesehen werden muss, deren Verständnis sich letztlich nicht auf rein physikochemische Prozesse reduzieren lässt. Und für die Evolution fehlt es uns noch hinlänglich an Theorie. Der Erfolg der Datenanalyse in der modernen Biologie begründet sich vor allem darin, dass sie in Abwesenheit von stark ausgebildeten theoretischen Grundlagen ein sehr wirksames und eigentlich das einzig verfügbare Instrument für Wissensgenerierung darstellt.

Illustrieren wir dies kurz an dem Problem der Bestimmung der dreidimensionalen Struktur von Proteinen, also Eiweißmolekülen. Proteine sind die molekularen Maschinen unseres Körpers, im Speziellen, und von lebenden Organismen, im Allgemeinen. Proteine sind langkettige Moleküle, die sich aus Abfolgen von Aminosäuren zusammensetzen. Das irdische Leben verwendet zwanzig Aminosäuren. Sie stellen quasi einen universellen chemischen Bausatz aus kleinen Molekülen dar, mit dem das Leben durch Verkettung komplexe Moleküle mit hochspezifischen Funktionen bildet, die Proteine. Im menschlichen Körper gibt es schätzungsweise eine Million verschiedene Proteine. Die Funktion eines Proteins manifestiert sich in seiner dreidimensionalen Struktur, und Proteine sind in ihren Strukturen extrem divers (siehe Abb. 1). Viele unserer Proteine nehmen nach ihrer Synthese spontan eine eindeutige dreidimensionale Struktur an. Proteinstrukturen sind bis heute sehr schwer zu vermessen. Daher ist es sehr hilfreich, wenn man aus der Kenntnis der Proteinsequenz mit Computeralgorithmen ein Modell der Proteinstruktur ableiten kann. Die Struktur eines Proteins ist letztlich in der Abfolge der Aminosäuren im

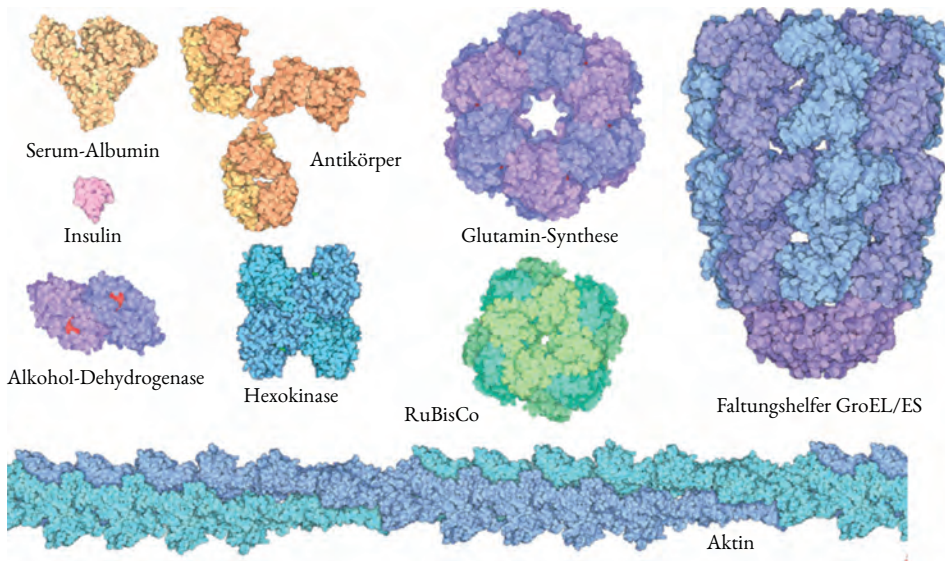


Abbildung 1. Dreidimensionale Strukturen diverser Proteine. Die angegebenen Kürzel identifizieren die Einträge der Proteine in der Protein Structure Database. (Auswahl aus „Molecular Machinery: A Tour of the Protein Data Bank“ by David S. Goodsell [<http://mm.rcsb.org>])

Protein, also seiner Sequenz, begründet und sollte sich daher auch prinzipiell rechnerisch aus der Proteinsequenz ableiten lassen. Dieses so genannte Proteinstrukturvorhersage-Problem hat genau den Zwittercharakter, den wir eben dem gesamten Feld der Biologie zugesprochen haben (Dill und MacCallum 2012; Wolynes 2015).

Zum einen gehorcht das Protein bei seiner Faltung, also dem Prozess, mit dem es seine dreidimensionale Struktur annimmt, den Gesetzen der Thermodynamik – und die besagen, dass es sich in den energetisch günstigsten Zustand faltet. Die entsprechenden Formeln für die Berechnung der Energie eines eine bestimmte Struktur annehmenden Proteins sind seit der Entwicklung der Thermodynamik und Quantenmechanik bekannt. Das Protein ist jedoch ein so komplexes Molekül – es kann viele tausend Atome enthalten – dass die Formeln in der Praxis nicht berechnet werden können. Wir sind hier also in der misslichen Lage, dass wir eigentlich alle Theorie für die Berechnung der Proteinstruktur zur Verfügung haben, sie aber aufgrund der Komplexität des zu betrachten Moleküls nicht anwenden können.

Auf der anderen Seite sind die Proteine, die das Leben heute bereitstellt, durch den langen Prozess der evolutionären Entwicklung gegangen. Die Gesamtheit aller vom Leben hervorgebrachten Proteine ist mitnichten zufällig zusammengewürfelt. Vielmehr ergeben sich tiefgehende und oft komplexe Verwandtschaften zwischen Proteinen in verschiedenen Organismen und auch zwischen verschiedenen Proteinen in demselben Organismus. Diese Verwandtschaftsbeziehungen führen dazu, dass etwa Proteine, deren Aminosäureabfolge sich in weniger als etwa 65–70 % der Aminosäuren unterscheidet, mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit fast identische

dreidimensionale Strukturen haben (Sander und Schneider 1991; Rost 1999). Wir können also die Struktur eines Proteins, dessen Aminosäuresequenz wir kennen, dann mit hoher Genauigkeit ableiten, wenn wir ein weiteres in der Aminosäuresequenz ähnliches Protein kennen, dessen Struktur uns bereits bekannt ist (Fiser et al. 2002; Dunbrack 2007). Dieses Protein wird in diesem Zusammenhang als strukturelles Templat bezeichnet. Genau das ist die Grundlage von Algorithmen, die aus der Aminosäuresequenz eines Proteins eine dreidimensionale Struktur ableiten. Solche Algorithmen greifen auf Datenbanken von Proteinen zurück, deren Sequenz und Struktur wir kennen. Dies gilt heute für etwa 110 000 Proteine, die in der *Protein Data Bank* (www.pdb.org) zusammengefasst sind. Dann wird mit einer Data Fitting-Prozedur die Struktur des zu modellierenden Proteins aus der Struktur des Templates abgeleitet. Der letzte Verfeinerungsschritt dieser Methode benutzt dann häufig tatsächlich theoretische Grundlagen von Mechanik und Thermodynamik.

Das geht immer dann gut, wenn wir in unseren Datenbanken tatsächlich ein Struktur-Templat für unser Protein finden. Vor einigen Jahren konnte dieses Verfahren sogar auf den Fall erweitert werden, dass kein Struktur-Templat für unser Protein vorliegt. Es stellte sich nämlich heraus, dass, wenn wir nur genug sequenzähnliche Proteine haben, in den Beziehungen zwischen deren Aminosäuresequenzen untereinander subtile Signale über Aspekte der dreidimensionalen Struktur des Proteins enthalten sind, etwa darüber, ob sich zwei Aminosäuren im Raum nah oder fern stehen. Wenn man diese Signale geeignet auswertet und wenigstens 1000 Sequenzen unserem Protein sequenzähnlicher Proteine zur Verfügung stehen, ist es auch ohne ein Struktur-Templat möglich, unser Protein zu modellieren, wenn auch mit geringerer Zuverlässigkeit (Mars et al. 2011; Kamisetty, Ovchinnikov und Baker 2013). Schwede (2013) gibt eine Übersicht über den derzeitigen Stand der algorithmischen Modellierung von Proteinstrukturen.

Wir haben es hier also mit einer Methode der Datenanalyse zu tun. Es wird kein Naturgesetz bemüht, sondern die Struktur wird assoziativ aus Daten über ähnliche Proteine abgeleitet. Obwohl der Umfang der Daten, die benutzt werden, nicht an das Volumen heranreicht, das sonst im Big Data-Kontext zu beobachten ist, rechne ich die Methode doch zu Big Data, weil sie die drei in Abschnitt 1 aufgeführten Kriterien erfüllt. Es ist eine ganz wesentliche Bemerkung, dass die mit solchen Methoden abgeleiteten Strukturmodelle, die allesamt statistischer Natur sind, mit nicht zu vernachlässigenden Unsicherheiten und Ungenauigkeiten behaftet sind. Manchmal sind sie einfach grundfalsch. Wie in Abschnitt 2 ausgeführt, liegt das daran, dass unsere Data Mining-Methode zur Modellierung von Proteinstrukturen keine Kausalzusammenhänge, sondern nur assoziative Muster auswertet. Deshalb ist es von großer Wichtigkeit, dass eine Methode zur Modellierung von Proteinen mit dem abgeleiteten Modell auch eine Schätzung für die Zuverlässigkeit dieses Modells zur Verfügung stellt. In der Tat gibt es solche Schätzungen sowohl für das Strukturmodell als Ganzes als auch für lokale Bereiche des Strukturmodells, etwa die besonders wichtigen Bindungsstellen eines Proteins, an die andere Moleküle andocken (Kihara, Chen und Yang 2009), siehe Abb. 2.

Aufgrund der Tatsache, dass lebende Systeme so komplex sind, dass sie sich praktisch nie durch direkte Anwendung der physikochemischen Grundlagen analysieren lassen, ist die Bioinformatik, die molekularbiologische Daten zum Verständnis von lebenden Systemen mit Computern auswertet, im Wesentlichen eine datengetriebene Wissenschaft, d. h. sie gehört in den Bereich von Big Data (Lengauer, Albrecht und Domingues 2012).

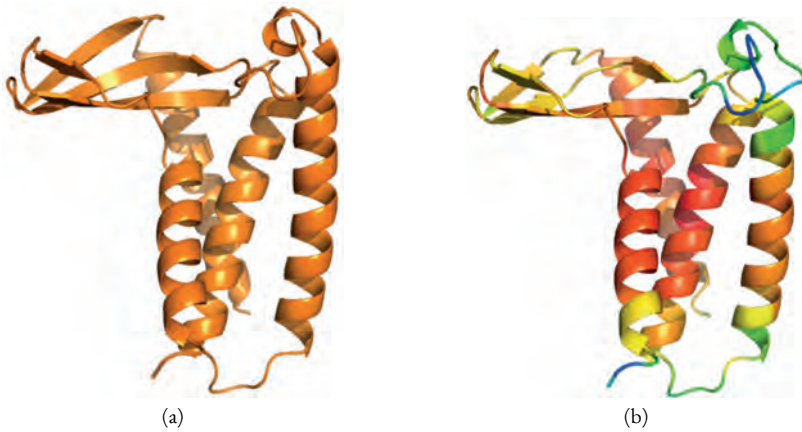


Abbildung 2. Nach einem Templat modellierte Proteinstruktur. Sowohl das Templat als auch das modellierte Protein sind für die Entwicklung von Antibiotika relevante bakterielle Proteine (Lipoprotein Signalpeptidase II) mit ähnlicher Funktion, die aber in verschiedenen Organismen vorkommen. Die Proteine sind in der „Cartoon“-Version dargestellt, die eine geglättete Form des Proteinrückgrates angibt. (a) Struktur des Templatproteins in konstant oranger Farbe. (b) Nach Zuverlässigkeit eingefärbtes Strukturmodell des Proteins. Zuverlässige Strukturteile des Modells sind rot, weniger zuverlässige blau eingefärbt. Die von der Templatstruktur weiter abweichenden Teile des Modells haben generell eine geringere Zuverlässigkeit. Die Modellierung und Bewertung der Zuverlässigkeit des Modells wurden mit dem SwissModel Server durchgeführt (Benkert, Tosatto und Schomburg 2008; Biasini et al. 2014). Bei Drucklegung lag keine experimentell vermessene Struktur dieses Proteins vor. (Modellierung von Olga Kalinina)

5 Medizin – Big Data zum Wohl des Patienten: Warum müssen wir nicht immer die Ursachen verstehen?

Die Medizin ist wie die Biologie ein Teilgebiet der Lebenswissenschaften und teilt mit ihr die im letzten Beitrag beschriebenen Zwittereigenschaften. Sie beschäftigt sich mit den Unterschieden zwischen gesunden und kranken menschlichen Körpern. Körperliche Krankheiten haben in aller Regel eine konkrete molekulare Grundlage. Sie manifestieren sich in Deregulierungen von hochkomplexen molekularen Wechselwirkungsnetzen in oder zwischen Zellen unseres Körpers. Eine physikochemische Analyse dieser Grundlagen auf der Basis der Anwendung von Naturgesetzen ist jedoch in aller Regel nicht möglich. Das heißt, wir müssen auch hier wieder datengetrieben vorgehen. Dies ist an sich nichts Neues. Medizin war schon immer datengetrieben. Der Arzt hat seine Diagnose und Therapie aus einer Sammlung von Informationen über die Krankheitsgeschichte des Patienten, Laborwerten und seiner beruflichen Erfahrung abgeleitet. In gewisser Weise hat er auf der Basis der ihm zur Verfügung stehenden Information ein Modell des Patienten abgeleitet, aufgrunddessen er therapeutische Entscheidungen trifft. Jedoch sind weder das Modell noch der Prozess seiner Ableitung mathematischer oder durchgängig systematischer Natur. Im Zeitalter von Big Data erfährt diese Vorgehensweise jetzt ein hohes Maß an Mathematisierung und Systematisierung. Dabei gewinnt der Aspekt der gemessenen Laborwerte, insbesondere solcher mit genomischem Charakter, und ihrer mathematischen Interpretation mit Computerhilfe zunehmende Bedeutung.

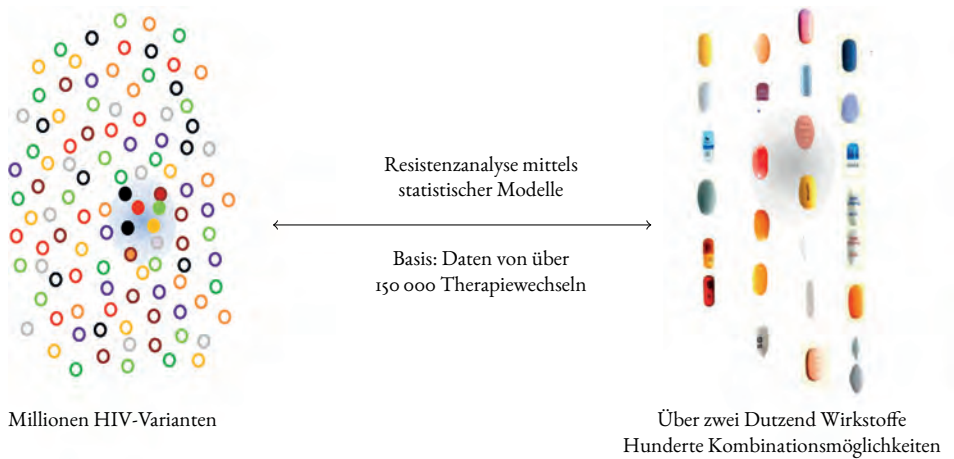


Abbildung 3. Mit Hilfe von Data Mining in großen Datenbanken zur Resistenz von HIV gegen Medikamente werden aus einer Menge von über zwei Dutzend HIV-Medikamenten (rechts) Medikamentenkombinationen (grau hinterlegt) vorgeschlagen, die gegen die im Patienten vorherrschende Population von HI-Viren (links, grau hinterlegt) wirksam sind.

Wir illustrieren dies am Beispiel der HIV-Therapie. Das HI Virus verändert sich im Körper des infizierten Patienten äußerst schnell. Hier findet dieselbe Art von Prozess statt, die wir auch von der Entwicklung von Antibiotika-Resistenz bei Bakterien kennen. Nur können wir ihn in diesem Fall nicht nur in der Gesamtheit aller Infizierten, sondern im einzelnen Patienten und über wesentlich kürzere Zeiträume, nämlich Tage, Wochen oder Monate beobachten. Ein HIV-Patient beherbergt eine ganze Vielfalt von ähnlichen, aber unterschiedlichen HI-Viren, und diese Viren verändern sich ständig, um den Angriffen des Immunsystems des Patienten und der bestehenden Medikamenten-Therapie zu entgehen. Aus diesem Grund gibt es heute über zwei Dutzend verschiedene Medikamente gegen HIV, die dem Patienten in einer Kombination von etwa drei Medikamenten verabreicht werden. Diese Kombination führt zu über tausend möglichen Therapieoptionen. Ob ein Virus resistent gegen ein bestimmtes Medikament ist, ist im viralen Genom codiert, allerdings auf eine Art und Weise, die nicht ohne weiteres für das menschliche Auge ersichtlich ist, und die im Labor auch schwer zu messen ist. Wir haben es also mit einem typischen Datenanalyse-Problem zu tun (Lengauer und Kaiser 2009). Die Eingabe für das Problem besteht aus der Sequenz des im Patienten vorrangig zu findenden Virus. (Seit neuestem kann man auch die Gesamtheit der im Patienten vorkommenden Viren mit hoher Genauigkeit vermessen [Thielen und Lengauer 2012].) Die Ausgabe ist eine Liste der geschätzten Resistenzen des Virus gegen das Sortiment der verfügbaren HIV-Medikamente (siehe Abb. 3). Die Datenbank (der Big Data-Aspekt des Problems) besteht in diesem Fall aus einer internationalen Sammlung von Daten über mehr als 150 000 Therapieepisoden von HIV-Patienten (Zazzi et al. 2012), siehe auch www.euresist.org. Aus diesen Daten werden mit Data Mining-Methoden, auf die wir im nächsten Abschnitt kurz eingehen werden, statistische Modelle abgeleitet, die, nach Eingabe einer viralen Sequenz, die Resistenz des Virus gegenüber den verfügbaren Medikamenten schätzen.

Wir stellen ein solches Beratungssystem für die HIV-Therapie unter www.genozpheno.org frei über das Internet zur Verfügung (Beerenwinkel et al. 2002; Lengauer und Sing 2006). Das System wird über Deutschland hinaus zur Behandlung von HIV-Patienten eingesetzt. Natürlich sind auch die Schätzungen dieses Systems nicht fehlerfrei, da sie ja einer Datenanalyse entspringen und keine Kausalzusammenhänge auswerten. In einigen unserer Analysearten bieten wir daher auch Zuverlässigkeitsschätzungen an.

Dies ist die geeignete Stelle, um über Nutzen und Grenzen datengetriebener Methoden zu sprechen. Rufen wir uns das Bild des Prozesses zur Wissensgenerierung ins Gedächtnis, das mit Datensammlung beginnt, auf die Datenanalyse und Modellbildung sowie schließlich Theoriebildung, das heißt die Aufdeckung kausaler Zusammenhänge folgen. Wir erkennen, dass der dritte Schritt, nämlich der der Theoriebildung, sowohl bei unserem biologischen Beispiel aus dem letzten Abschnitt als auch bei diesem medizinischen Beispiel fehlt. Während unsere Vorhersagen – der Proteinstruktur oder der Resistenz des Virus gegen Medikamente – durchaus einen hohen Genauigkeitsgrad haben können, können wir über die kausalen Zusammenhänge in beiden Fällen nur Vermutungen anstellen. Dies manifestiert die Grenzen der Datenanalyse. Warum aber sollte eine Methode, die lediglich auf Datenanalyse beruht und keine kausalen Zusammenhänge zu Medikamentenwirkung aufdeckt oder verwendet, medizinisch nützlich sein?

Hier werden wir uns der Macht der Datenanalyse bewusst. Sie besteht in der Fähigkeit, auch bei Systemen von hoher Komplexität, die wir theoretisch nicht durchdrungen haben, zu Vorhersagen zu kommen. Der Nutzen dieser Vorhersagen beruht vor allem darauf, dass sie in vielen Fällen akkurat sind. Gerade, wenn wir kein theoretisches Verständnis haben, ist die Datenanalyse das einzige Mittel zur Entscheidungsunterstützung. Ein aus einer Datenanalyse resultierendes Modell, das eine hohe Vorhersagegenauigkeit hat, reicht aus, auch wenn es nicht direkt verständlich ist.

In der Wissenschaft hat eine Vorhersage, die nicht auf erkennbaren Kausalzusammenhängen basiert, einen besonders schlechten Ruf. Im täglichen Leben gehen wir jedoch fast immer so vor. Praktisch all unsere Entscheidungen, zum Beispiel die darüber, wie wir mit unserem menschlichen Gegenüber kommunizieren, alle Hypothesen, die wir über die Verfassung und Einstellung des Dialogpartners aufstellen, ergeben sich daten- oder hier besser erfahrungsgetrieben aus der Beobachtung von Körperhaltung, Mimik, Tonfall oder der Kenntnis von relevanten Fakten über unseren Dialogpartner. Wir tun dies alles sogar noch größtenteils unbewusst. Das ist nur ein kleines Beispiel für das datengetriebene Vorgehen, das wir ganz überwiegend einsetzen, um uns im täglichen Leben zurechtzufinden. Dies gilt im Übrigen auch für alle anderen Spezies. So wird deutlich, in welchem großem Umfang sich die Natur der Datenanalyse bedient. In der Tat ist das Konzept der Kausalität erst durch die kognitiven Fähigkeiten des rational denkenden Menschen in die Welt gekommen.

Aber zurück zur Medizin: Wir haben auch hier in den meisten Fällen, jedenfalls bis jetzt, keine andere Wahl, als zu datengetriebenen Methoden zu greifen. Das wird deutlich, wenn man sich das Prinzip der klinischen Studien im Zusammenhang mit der Zulassung neuer Medikamente oder Therapien vor Augen führt – eine rein datengetriebene Prozedur. Dabei wird zum Beispiel durch den sorgfältigen Entwurf einer randomisierten kontrollierten Studie (Vineis 2003) oder mittels des Instruments der Mendelschen Randomisierung (Davey Smith und Hemani 2014) sorgfältig darauf geachtet, dass Störfaktoren (siehe auch Abschnitt 5) das Studienergebnis

so wenig wie möglich beeinflussen. Danach wird die Assoziation des Therapieerfolgs mit der Gruppenzugehörigkeit des Patienten in der Studie kausal interpretiert (Kottas et al. 2011). Dies ist jedoch nach unserer strengen Auslegung kein wirkliches Verständnis des kausalen Zusammenhangs, in demselben Sinne, wie wir auch Keplers Gesetze nicht als erklärend verstehen, obwohl sie sehr genau die Planetenbahnen beschreiben. Vielmehr steht der statistische Nachweis der Überlegenheit einer Therapie gegenüber alternativen Therapien, das heißt die Vorhersagegenauigkeit, nach wie vor im Vordergrund. Das wird in der Regel als ein ausreichender Nachweis für Kausalität angesehen, auch wenn die molekularen Prozesse nicht im Einzelnen aufgeklärt sind.

6 *Methoden bei statistischen Analysen: Von Mathematik und Ethik*

In diesem Abschnitt möchte ich sehr kurz auf den Charakter und die Form der mathematischen Methoden zur Datenanalyse eingehen und zwei der wichtigsten Probleme diskutieren, denen man sich bei der Datenanalyse stellen muss. Einleitend sei erwähnt, dass Leibniz einer der frühen Proponenten von Inferenz von Wissen aus Daten war (Gigerenzer et al. 1990; Wagner 2008).

In der journalistischen Presse wird gelegentlich fälschlicherweise den Algorithmen, die zur Datenanalyse verwendet werden, eine ethische Qualität zugesprochen. Dies beruht meiner Ansicht nach auf einem Missverständnis. Algorithmen, also mathematische Verfahren zur Berechnung eines Ergebnisses, können nicht gut oder schlecht sein, genauso wie die Zahl 5 oder der Satz von Pythagoras nicht gut oder schlecht sein können. Das mathematische Verfahren an sich verwendet immer eine gegebene Eingabe, in unseren beiden Beispielen die Proteinsequenz bzw. die Sequenz des viralen Genoms, in einer angemessenen mathematischen Kodierung. Diese Kodierung erfolgt nicht automatisch, sondern wird von dem Entwickler der Datenanalysemethode entworfen. Sie transzendiert also den Algorithmus. Es ist durchaus so, dass die Kodierung entscheidenden Einfluss auf das Resultat hat. In der Regel wird der Entwickler jedoch die Kodierung so wählen, dass das Analyseverfahren eine größtmögliche Vorhersagegenauigkeit aufweist. Also auch hier ist zunächst ein ethischer Wert noch nicht vorrangig auszumachen. Auf der Grundlage der entsprechend kodierten Eingabe versucht jeder Algorithmus, eine Ausgabe zu erzeugen, die in einem präzise definierten Sinne optimal ist. Bei der Proteinstrukturvorhersage wollen wir ein Proteinmodell haben, das der tatsächlichen Proteinstruktur am nächsten kommt. Bei der HIV-Therapie suchen wir nach einer Schätzung der Resistenz des Virus gegen den Wirkstoff, die der tatsächlichen Resistenz am nächsten kommt. Dieses Qualitätskriterium, das sich in einer Kostenfunktion manifestiert, die das algorithmische Verfahren zu optimieren sucht, ist ein ganz wesentlicher Bestandteil der Entwicklung einer Datenanalysemethode. Beispiele für Kostenfunktionen sind: (i) die gegenwärtige Wirksamkeit einer Therapie, (ii) die Länge der Wirksamkeit einer Therapie, (iii) die Anzahl und geschätzte Wirksamkeit möglicher Anschlusstherapien sobald die gegebene Therapie versagt, (iv) die Kosten einer Therapie – oder Kombinationen von diesen Kriterien. Es ist offensichtlich, dass an dieser Stelle auch ethische Belange Einzug halten. Wir haben hier jedoch die Domäne der Mathematik verlassen und befassen uns mit der Spezifikation unserer Methode.

Mathematisch geht der allergrößte Teil der Datenanalysemethoden wie folgt vor. Die Kodierung der Eingabe ergibt gewöhnlich für jeden Datenpunkt einen Punkt in einem in der Regel

hochdimensionalen euklidischen Raum. Zur Illustration verwenden wir hier einen Beispieldatensatz,⁴ der Auskunft über den Benzinverbrauch von Kraftfahrzeugen in Abhängigkeit von deren Baujahr und Gewicht gibt. Da die Daten aus den USA stammen, ist der Benzinverbrauch in Meilen pro Gallone (mpg) und das Gewicht in englischen Pfund (lbs) angegeben. Wir haben also zwei Eingaben (Gewicht und Jahr) – unser Datenraum ist damit eine Ebene – und eine Ausgabe (mpg). In vielen Fällen kann die Anzahl der Dimensionen des Datenraums durchaus in die Hunderttausende gehen.

Wir konzentrieren uns hier auf das sogenannte überwachte Lernen, die vornehmlich für die Berechnung von Vorhersagen verwandte Methode. Hier gibt es zwei Formen der Datenanalyse (Abb. 4).

- (i) **Klassifikation:** Hier gehört jeder Datenpunkt einer Klasse an. Die Anzahl der Klassen ist endlich und in der Regel klein. Im Beispiel von Abb. 4a und b haben wir zwei Klassen gewählt. Die Autos werden in die Klassen niedriger Verbrauch ($\text{mpg} \geq 20$, blau) und hoher Verbrauch ($\text{mpg} < 20$, orange) unterteilt. Das Ziel der Datenanalyse ist, den Datenraum – hier also die Ebene – in Bereiche einzuteilen, die den Klassen zugeordnet werden. Die Klassifikation eines neuen Punktes geschieht dann durch die Zuordnung der Farbe des Bereiches, in dem der Punkt liegt. Die Abbildung zeigt zwei solche Modelle bei einer gegebenen Punktemenge, ein lineares (Abb. 4a, geradlinige Klassengrenze) und ein nichtlineares (Abb. 4b, gekrümmte Klassengrenze). Wie man sieht, machen beide Modelle Fehler, gekennzeichnet durch Punkte, deren Farbe sich von der ihres Hintergrundes unterscheidet. Dabei macht das nichtlineare Modell auf dem gegebenen Datensatz weniger Fehler (2 aus 392) als das lineare (30 aus 392).
- (ii) **Regression:** Hier ordnen wir die Datenpunkte keinen Klassen zu, sondern weisen ihnen eine Zahl als Markierung zu. Bei unserem Beispieldatensatz schätzen wir den Benzinverbrauch in Meilen pro Gallone. Wieder haben wir es mit zwei Eingabevariablen zu tun (Gewicht, Jahr), die die Ebene aufspannen, über die sich nun eine senkrechte Achse erhebt, die die Markierung „Verbrauch“ trägt. Die geschätzten Verbrauchswerte sind in Abb. 4c und 4d durch Oberflächen dargestellt. Die tatsächlichen Datenpunkte umgeben diese Fläche als Punktwolke. Wieder zeigen wir ein lineares (Abb. 4c) und ein nichtlineares (Abb. 4d) Modell. Die senkrechten Linien, die von den Datenpunkten auf die Oberflächen gezogen sind, repräsentieren die Fehler, die das Modell bei der Schätzung der einzelnen Verbrauchswerte macht. Auch hier ist der Fehler des linearen Modells größer als der des nichtlinearen Modells.

Die Kunst der problemgerechten Datenanalyse besteht in der geeigneten Kodierung der Eingabe, der richtigen Auswahl der Fehlerfunktion und der geeigneten Auswahl des Modells, etwa der richtigen Entscheidung zwischen einem linearen (einfachen) und einem nichtlinearen (komplexen) Modell. Dabei haben einfache Modelle den Nachteil, dass sie die gegebenen Daten unter Umständen nicht mit hoher Genauigkeit wiedergeben. Wenn ein Modell zu komplex ist, dann besteht dagegen die Gefahr, dass es zwar die gegebenen Daten sehr genau wiedergibt, aber nicht hinreichend auf zukünftige Daten verallgemeinert. Ein solches Modell nennt man übertrainiert. Abb. 4b zeigt ein Beispiel eines übertrainierten Modells für den Beispieldatensatz. Dass dieses Modell übertrainiert ist, ist leicht an den komplexen Klassengrenzen zu erkennen, die ganz

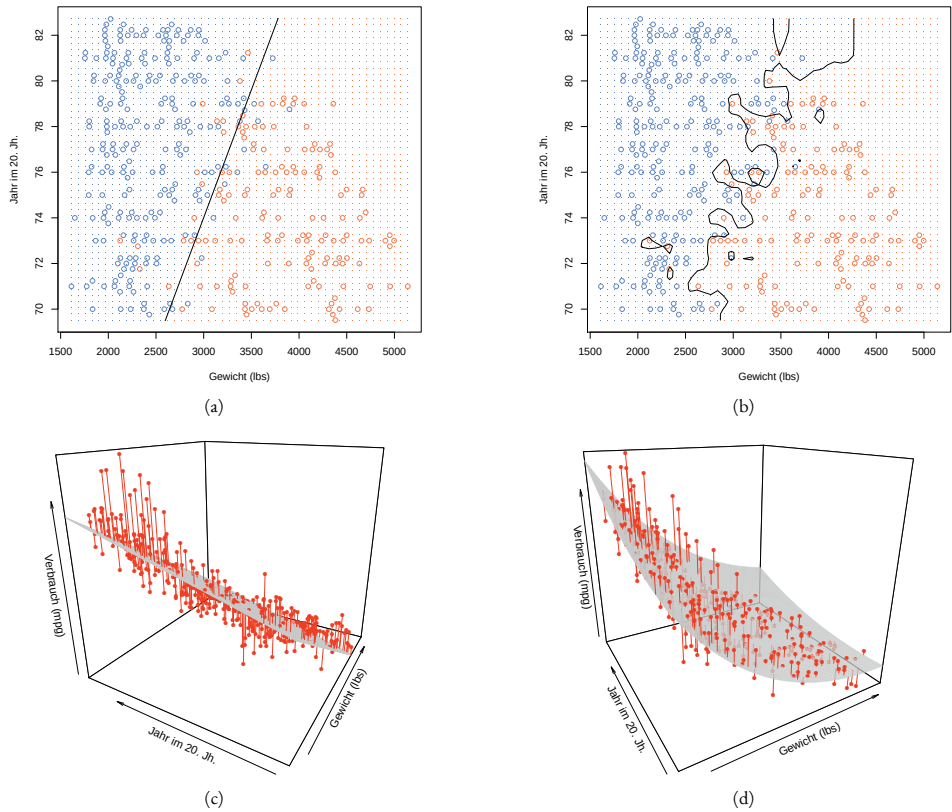


Abbildung 4. Statistische Verfahren zur Datenanalyse. (a) Klassifikation, lineares Modell. (b) Klassifikation, nichtlineares Modell. Die Datenpunkte sind blau (niedriger Verbrauch) bzw. orange (hoher Verbrauch) eingefärbt. Die schwarzen Linien zeigen die mit je einem linearen bzw. nichtlinearen Verfahren abgeleiteten Klassengrenzen. (c) Regression, lineares Modell. (d) Regression, nichtlineares Modell. Die Datenpunkte sind rot gefärbt. Die grauen Oberflächen repräsentieren die geschätzten Verbrauchswerte. Die senkrechten roten Linien geben die Abweichungen der tatsächlichen von den geschätzten Werten an.

offensichtlich auf die spezifisch gegebene Datenmenge angepasst sind und nicht die wirkliche Beziehung zwischen hohem/niedrigem Verbrauch in Abhängigkeit von Baujahr und Gewicht wiedergeben. Das Modell macht deshalb nur wenige Fehler auf den gegebenen Daten. Es ist aber nicht zu erwarten, dass das Modell auf zukünftigen Daten genaue Aussagen macht. Allerdings ist die Beziehung zwischen dem Benzinverbrauch und den Eingaben Baujahr und Gewicht offensichtlich nichtlinear: Wie sich nachrechnen lässt, gibt das nichtlineare Regressionsmodell in Abb. 4d sie besser (mit geringerem Fehler und höherer Vorhersagekraft) wieder als das lineare Modell in Abb. 4c. Die richtige Modellkomplexität zu wählen ist ein zentrales Problem bei der Datenanalyse. (Eine ausführliche Einführung in die methodischen Grundlagen der statistischen Datenanalyse geben James et al. (James et al. 2014).

7 Fallen bei statistischen Datenanalysen: Nicht alles ist so, wie es scheint

In diesem Abschnitt wollen wir unsere Diskussion der Grenzen von Datenanalyse noch etwas vertiefen. In dem Titel dieses Artikels gibt es noch zwei Kernbegriffe, nämlich „Suggestivität“ und „Risiken“. Sie betreffen zwei Fallen, die sich bei Datenanalysen auftun können und die es unter allen Umständen zu umschiffen gilt.

Beginnen wir mit dem Risiko: Betrachten wir ein aktuelles Beispiel aus der modernen genombasierten Medizin. Hier versucht man, Zusammenhänge zwischen Krankheitsbildern und Genomvarianten des Patienten aufzudecken. Kurz gesagt, man sucht nach Krankheitsgenen. Der Begriff „Krankheitsgen“ ist recht irreführend, denn in der Regel hat jeder Mensch das betreffende Gen. Dabei können sich die Varianten des Gens zwischen verschiedenen Menschen unterscheiden. Nur manche Varianten sind mit Krankheiten assoziiert. Wonach man sucht, sind Varianten von Genen, die bei bestimmten Krankheitsbildern gehäuft auftreten. Dieser zunächst rein statistische Zusammenhang legt einen kausalen Zusammenhang zwischen der betreffenden Genvariante und dem Krankheitsbild nahe, beweist ihn aber nicht. Solche statistischen Zusammenhänge werden mit so genannten genomweiten Assoziationsstudien (GWAS) untersucht. Hier bedient man sich einer großen Kohorte von in der Regel tausenden oder zigtausenden Probanden, gesund und krank. Man liest deren Genome bzw. diejenigen Teile des Genoms ab, die man für krankheitsrelevant hält. Und dann untersucht man mit geeigneten statistischen Verfahren, ob an gewissen Orten im Genom (Genorten, Gen loci) genomische Varianten unter den Patienten mit einem bestimmten Krankheitsbild gehäuft auftreten. Mit GWAS hat man schon vielfache Hinweise auf die Assoziationen von Genorten zu Krankheitsbildern gefunden (Burton 2007; siehe auch den GWAS Catalog unter www.ebi.ac.uk/gwas/). Als Studienresultate ergeben sich Diagramme wie in Abb. 5 dargestellt. Hier sind auf der waagerechten Achse die 22 Chromosomen des menschlichen Genoms aufgetragen (das Geschlechtschromosom wird nicht betrachtet). Auf

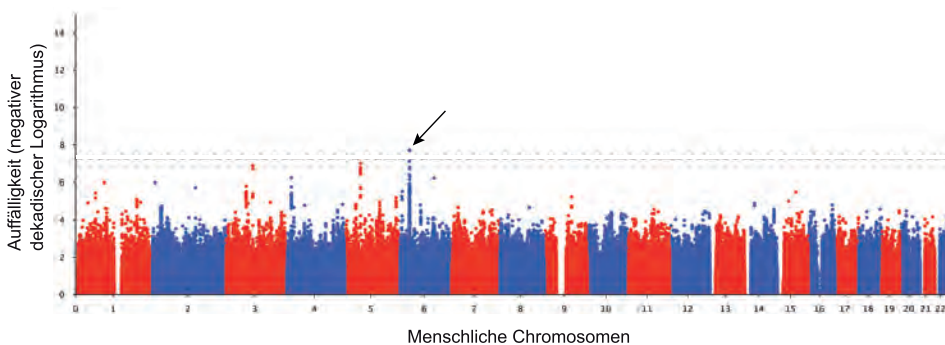


Abbildung 5. Ergebnisse einer genomweiten Assoziationsstudie zur Aufdeckung von mit der Intensität der HIV-Infektion assoziierten Genomorten. Nur der mit dem Pfeil gekennzeichnete Genort ist nach Bereinigung der Resultate unter Berücksichtigung des Multiplen-Testphänomens signifikant mit dem Krankheitsbild assoziiert. Für diesen Genort, an dem ein Protein unseres Immunsystems kodiert ist, ist auch die biologische Grundlage dieser Assoziation bekannt. (Abbildung adaptiert aus (Bartha 2013) unter Creative Commons License CC BY 4.0.)

der senkrechten Achse ist ein Maß für die Auffälligkeit des Genortes abgetragen. Auffälligkeit bedeutet hier das gehäufte Auftreten einer Variante des Gens bei Menschen mit der betrachteten Krankheit (Sham und Purcell 2014). Größere Zahlen bedeuten höhere Auffälligkeit. Man sieht, dass sich aus der allgemeinen Wolke von Punkten, die Genorten entsprechen, ein paar Dutzend Genorte nach oben ablösen.

Die hier konkret genannte Studie betrachtet die Virenkonzentration im Blut bei einer HIV-Infektion (Bartha et al. 2013). Die Betrachtung von Abb. 5 würde nahe legen, dass etwa zwei Dutzend Genorte eine mögliche Assoziation mit dem Krankheitsbild haben, nämlich diejenigen, die sich aus dem Ozean der Punkte in der Abbildung nach oben herausheben. Dem ist jedoch nicht so. Nach einer stringenteren Signifikanzanalyse weist nur ein Genort, nämlich der mit dem Pfeil gekennzeichnete, tatsächlich eine statistisch signifikante Assoziation mit dem Krankheitsbild auf. Sind wir nicht stringent genug, dann unterstellen wir vielen Genen eine Assoziation mit der Krankheit, die diese tatsächlich gar nicht aufweisen. Wie kommt das? Der Grund hierfür liegt darin, dass wir sehr viele Genorte untersuchen. Dass ein einzelner Genort rein zufällig, das heißt, ohne biologische Basis auffällig ist, ist möglich, aber sehr unwahrscheinlich – genauso, wie ein Sechser im Lotto möglich, aber sehr unwahrscheinlich ist. Aber wenn man zigtausend Genorte untersucht, können sich Auffälligkeiten auch rein zufällig ergeben. Wenn viele Leute Lotto spielen, wird es mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Gewinner geben. Alle in Abb. 5 auffällig erscheinenden Genorte, außer dem mit dem Pfeil gekennzeichneten, sind solche Lottogewinner – sie sind auffällig ohne erkennbare biologische Grundlage. Einen solchen falschen Hinweis auf eine Auffälligkeit nennt man ein Falsch-Positiv. Das Risiko von Falsch-Positiven ist besonders dann groß, wenn die Analyse viele gleichartige Tests umfasst (Multiples Testen [Sham und Purcell 2014]). Falsch-Positive sind ein großes Ärgernis bei Datenanalysen. Sie treten auch im täglichen Leben auf, sei es bei einem medizinischen Test, der einem ein Krankheitsrisiko bescheinigt hat, das sich bei einer Nachuntersuchung nicht bestätigt, oder bei einem Verdacht der Beteiligung bei einem Vergehen, der sich im Nachhinein nicht bestätigt.

In heutiger Zeit, in der sehr viele Hypothesen auf der Basis von Big Data-Analysen aufgestellt werden, werden Falsch-Positive von einem Risiko zu einer wirklichen Gefahr. Wird die Datenanalyse unsachgemäß vorgenommen oder werden Schlussfolgerungen aus ihr vorschnell gezogen, so kann dies zur Bildung von Vorurteilen, Ausgrenzung und Stigmatisierung führen.

Die zweite Falle bei statistischen Analysen fassen wir hier unter dem Kernbegriff „Suggestivität“ zusammen. Damit meinen wir, dass die Resultate von Datenanalysen Kausalzusammenhänge dort suggerieren können, wo sie nicht nachgewiesen und häufig auch nicht einmal vorhanden sind.

Betrachten wir folgende Beispiele:

- (i) Eine genomweite Assoziationsstudie deckt die Auffälligkeit eines Gens bezüglich eines Krankheitsbildes auf. Ist damit erwiesen, dass das Gen ursächlich für die Krankheit ist?
- (ii) Eine statistische Studie zeigt, dass bei Leuten, die in der Nähe eines Kernkraftwerks wohnen, ein bestimmter Krebs gehäuft auftritt. Ist damit erwiesen, dass das Kernkraftwerk Strahlung abgibt, die die Ursache für das gehäufte Auftreten des Krebses ist?
- (iii) Eine Studie zeigt, dass Raucher eine verringerte Häufigkeit von Parkinson haben. Wie verhält es sich hier mit den Kausalbeziehungen?

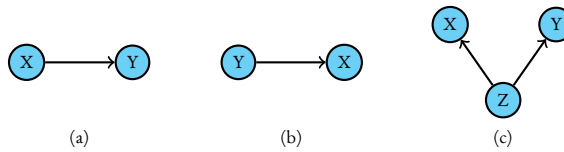


Abbildung 6. Drei Möglichkeiten für kausale Abhängigkeiten zwischen assoziierten Variablen

Nennen wir die zwei in Assoziation stehenden Größen X und Y . Generell legen Assoziationen zwischen X und Y einen kausalen Zusammenhang zwischen den beiden Größen nahe. Was aber hier Ursache und was Wirkung ist, bleibt unklar (Aalen und Frigessi 2007). Abb. 6 zeigt drei Möglichkeiten des kausalen Zusammenhangs zwischen X und Y . Im komplexesten Fall (c) geht die Assoziation zwischen X und Y auf eine dritte Größe Z zurück, die zu den beiden Größen X und Y im ursächlichen Zusammenhang steht. In vielen Fällen gibt es so genannte Störgrößen, Größen die im Rahmen der statistischen Studie nicht gemessen werden, aber mehrere gemessene Größen beeinflussen. Im Falle (ii) hat sich bei einer tatsächlichen Studie herausgestellt, dass die radioaktive Strahlung, die aus dem Kernkraftwerk entweicht, so gering ist, dass sie keine Ursache für gehäufte Krebsfälle sein kann. Es gibt jedoch andere Größen, etwa solche betreffend die demographische Zusammensetzung der Bevölkerung in der Nähe eines Kernkraftwerks, die auf die Krebsrate sehr wohl einen Einfluss haben. Eklatante Beispiele wie die Tatsache, dass die Anzahl von Storchenpaaren in einer Region mit der dortigen Geburtenrate assoziiert ist (Matthews 2000), zeigen, mit welcher Vorsicht man an Interpretationen der Resultate von Datenanalysen herangehen muss.

In jüngster Zeit hat gerade das Aufkommen von Big Data in der Statistik eine dynamische Entwicklung eingeleitet, unter anderem mit dem Ziel der Ableitung von kausalen Zusammenhängen aus statistischen Assoziationen (Pearl 2009). Wir stehen hier noch ganz am Anfang. Aber erste Resultate gibt es bereits, wenn sie auch bisher nur in eingegrenzten Szenarien anwendbar sind. Bernhard Schölkopf vom Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Tübingen hat für seine Arbeiten auch auf diesem Gebiet (Mooij 2015; Janzing et al. 2014) im Jahr 2012 den Akademiepreis der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften erhalten.

8 Epilog: Von Big Data zur Theorie

Was ist also unser Fazit? Ist, wie viele Leute meinen, Big Data der Motor der Innovation in unserem heutigen Zeitalter? Nach dieser Ansicht beherbergen die Daten und insbesondere, die in ihnen enthaltenen Muster, alle Weisheit des Universums. Es ist völlig ausreichend, dass die Daten die Ableitung von Modellen mit hoher Vorhersagegenauigkeit erlauben. Es ist nicht notwendig, dass die Modelle im Sinne von kausalen Zusammenhängen auch verstanden werden. Kausalität ist sowieso etwas, was nur durch die kognitiven Fähigkeiten des Menschen in das Universum Eingang gefunden hat. Bis es uns gab, kam die Natur auch ganz gut ohne diesen Begriff aus und hat es mit lediglich den Anpassungs- und Lernmechanismen, die auch der

Datenanalyse unterliegen, sehr weit gebracht. Oder ist Big Data der Beginn einer Veränderung der Gesellschaft, die zunehmend mehr auf Assoziationen vertraut als auf das aus sorgfältiger Ableitung von kausalen Zusammenhängen resultierende Verständnis – mit allen erwähnten Begleiterscheinungen wie Verdachten und Vorurteilen, die aus Datenanalysefehlern resultieren, und mit der Illusion von Kausalzusammenhängen, die nicht wirklich überprüft wurden?

Ich meine, dass Datenanalyse im Zeitalter von Big Data ein mächtiges Instrument ist, das mit großer Sorgfalt verwendet werden muss. Man braucht sicher eine Kombination von technischen Lösungen und gesellschaftlichen Regeln, um dieses Instrument kontrolliert und verantwortungsbewusst einzusetzen.

Generell bin ich gegen Schwarzweißmalerei, was Big Data betrifft. Aus wissenschaftlicher Sicht schließen sich Datenanalyse und Theoriebildung nicht aus. Vielmehr ist die Datenanalyse als ein Vorfilter für Untersuchungen zu verstehen, die Kausalzusammenhänge aufdecken. Früher diente allein der Geist des Forschers als Instrument, eine plausible Hypothese aufzustellen, die dann systematisch durch Experimente validiert oder falsifiziert werden konnte. Heute können wir das Instrument der Datenanalyse aus Big Data einsetzen, um aus einer zunächst unüberschaubaren Hypothesenvielfalt systematisch eine begrenzte Menge von vielversprechenden Hypothesen auszuwählen, die dann mit Methoden, die sich in der Wissenschaft seit Jahrhunderten bewährt haben, überprüft werden können. In einem solchen Szenario wird die Datenanalyse, wo immer möglich, durch eine auf die Aufdeckung von Kausalzusammenhängen und auf Theoriebildung abzielende Nachuntersuchung ergänzt. Dies findet in der Forschung vor allem in den Naturwissenschaften umfänglich statt. Den Vorschlägen, die sich aus der Datenanalyse ergeben, wird hierbei die notwendige kritische Vorsicht entgegengebracht. Als Instrument zur Eingrenzung von Hypothesenvielfalt ist die Datenanalyse in einem solchen Szenario von enormem Nutzen und oft in der Tat unverzichtbar.

Danksagung

Ich danke Markus Löffler und Jürgen Renn für ausführliche und sehr hilfreiche Hinweise zu diesem Artikel und Christian Lengauer und Marcel Schulz für eine kritische Durchsicht des Manuskripts. Die Fallbeispiele in Abb. 3, 4, bzw. 5 wurden von Olga Kalinina, Anna Feldmann, bzw. Nico Pfeifer beigesteuert, die auch anderweitige wertvolle Hinweise gegeben haben. Auch ihnen gilt mein aufrichtiger Dank.

Anmerkungen

1. Einen hervorragenden Einblick in die Geschichte der Quantenmechanik gibt Kumar (2009). Siehe auch Golstein und Hon (2005), Kuhn (1978), Kragh (1999).
2. Jörg Resag (2013) gibt eine allgemeinverständliche Einführung in die diesbezüglichen Hintergründe.
3. Häufig wird Big Data durch die fünf *V* charakterisiert: Volume (große Datenmenge, entsprechend unserem Kriterium (i)), Velocity (Schnelligkeit der Datengenerierung, entsprechend unserem Kriterium (ii)), Variety (Heterogenität von Daten, d. h. unterschiedlicher Ursprung; dieses Kriterium steht in unserer Betrachtung nicht im Vordergrund), Veracity (Zuverlässigkeit von Daten; siehe Abschnitt 5), Value (ein ökonomisches Kriterium, das wir hier nicht betrachten).
4. Der Datensatz ist unter www-bcf.usc.edu/~gareth/ISL/data.html zugänglich

Abbildungsnachweise

- Abb. 1: Protein Data Bank (www.pdb.org)
 Abb. 2a, b: Max-Planck-Institut für Informatik
 Abb. 3: Max-Planck-Institut für Informatik
 Abb. 4a–d: Max-Planck-Institut für Informatik
 Abb. 5: Entnommen aus und bearbeitet: Bartha I et al. (2013) A genome-to-genome analysis of associations between human genetic variation, HIV-1 sequence diversity, and viral control. *Elife* 2:e01123/CC BY 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Literatur

- Aad, Georges et al. (2012). "Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC". In: *Physics Letters B* 716 (1), S. 1–29.
- Aalen, Odd O. und Frigessi, Arnoldo (2007). "What can statistics contribute to a causal understanding?". In: *Scandinavian Journal of Statistics* 34 (1), S. 155–168.
- Adam-Bourdarios, Claire et al. (2015). "The Higgs Machine Learning Challenge". In: *Journal of Physics: Conference Series* 664 (7), 072015.
- Bartha, Istvan et al. (2013). "A genome-to-genome analysis of associations between human genetic variation, HIV-1 sequence diversity, and viral control". In: *Elife* 2, e01123.
- Beerenwinkel, Niko et al. (2002). "Diversity and complexity of HIV-1 drug resistance: a bioinformatics approach to predicting phenotype from genotype". In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99 (12), S. 8271–8276.
- Benkert, Pascal, Tosatto, Silvio C. und Schomburg, Dietmar (2008). "QMEAN: 'A comprehensive scoring function for model quality assessment'". In: *Proteins* 71 (1), S. 261–277.
- Biasini, Marco et al. (2014). "SWISS-MODEL: Modelling protein tertiary and quaternary structure using evolutionary information". In: *Nucleic Acids Research* 42 (Web Server issue): W252–258.
- Born, Max, Heisenberg, Werner und Jordan, Pascual (1926). „Zur Quantenmechanik. II“. In: *Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei* 35 (8), S. 557–615.
- Born, Max und Jordan, Pascual (1925). „Zur Quantenmechanik“. In: *Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei* 34 (1), S. 858–888.
- Burton, Paul R. et al. (2007). "Genome-wide association study of 14,000 cases of seven common diseases and 3,000 shared controls". In: *Nature* 447 (7145), S. 661–678.
- Chatrchyan, Serguei et al. (2012). "Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC". In: *Physics Letters B* 716 (1), S. 30–61.
- Bernstein, BE et al. (2012). "An integrated encyclopedia of DNA elements in the human genome". In: *Nature* 489 (7414), S. 57–74.
- Davey Smith, George und Hemani, Gibran (2014). "Mendelian randomization: genetic anchors for causal inference in epidemiological studies". In: *Human Molecular Genetics* 23 (R1), R89–98.
- Dill, Ken A. und MacCallum, Justin L. (2012). "The protein-folding problem, 50 years on". In: *Science* 338 (6110), S. 1042–1046.
- Dunbrack, Jr. Roland (2007). "Homology modeling in biology and medicine". In: *Bioinformatics – From Genomes to Therapies*. Hrsg. von Thomas Lengauer. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, S. 297–350.
- Einstein, Albert (1916). „Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie“. In: *Annalen der Physik* 49 (7), S. 769–822.
- (2009). *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*. New York: Springer.
- Englert, François & Brout Robert (1964). "Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons". In: *Physical Review Letters* 13 (9), S. 321–323.
- Fiser, András, Feig, Michael, Brooks, Charles L., 3rd und Sali, Andrej (2002). "Evolution and physics in comparative protein structure modeling". In: *Acc Chem Res* 35 (6), S. 413–421.
- Ghiringhelli, Luca M., Vybiral, Jan, Levchenko, Sergey V., Draxl, Claudia und Scheffler, Matthias (2015). "Big Data of Materials Science: Critical Role of the Descriptor". In: *Physical Review Letters* 114 (10), S. 105503.
- Gigerenzer, Gerd et al. (1990). *The Empire of Chance: How Probability Changed Science and Everyday Life*. Cambridge, Großbritannien: Cambridge University Press.

- Goldstein, Bernhard R. und Hon, Giora (2005). "Kepler's Move from Orbs to Orbits: Documenting a Revolutionary Scientific Concept". In: *Perspectives on Science* 13 (1), S. 74–111.
- Grashoff, Gerd (2012). *Globalization of Ancient Knowledge: From Babylonian Observations to Scientific Regularities. The Globalization of Knowledge in History*. Berlin: Edition Open Access.
- Guo, Hua-Dong, Zhang, Li und Zhu, Lan-Wei (2015). "Earth observation big data for climate change research". In: *Advances in Climate Change Research* 6 (2), S. 108–117.
- Guralnik, Gerald S., Hagen Carl R. und Kibble, Thomas W. B. (1964). "Global Conservation Laws and Massless Particles". In: *Physical Review Letters* 13 (20), S. 585–587.
- Heisenberg, Werner (1925). „Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen“. In: *Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei* 33 (1), S. 879–893.
- Hesse, Bradford W., Moser, Richard P. und Riley, William T. (2015). "From big data to knowledge in the social sciences". In: *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science* 659 (1), S. 16–32.
- Higgs, Peter W. (1964). "Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons". In: *Physical Review Letters* 13 (16), S. 508–509.
- Imboden, Dieter und Koch, Sabine (2008). *Systemanalyse: Einführung in die mathematische Modellierung natürlicher Systeme*, 2. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Ivezić, Željiko et al. (2012). "Galactic Stellar Populations in the Era of the Sloan Digital Sky Survey and Other Large Surveys". In: *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 50 (1), S. 251–304.
- James, Gareth, Witten, Daniela, Hastie, Trevor und Tibshirani, Robert (2014). *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R*. New York: Springer Verlag.
- Janzing, Dominik, Steudel, Bastian, Shajarisales, Naji und Schölkopf, Bernhard (2014). "Justifying information-geometric causal inference". USA, Cornell: arXiv.
- Kamisetty, Hetunandan, Ovchinnikov, Sergey und Baker, David (2013). "Assessing the utility of coevolution-based residue-residue contact predictions in a sequence- and structure-rich era". In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110 (39), S. 15674–15679.
- Kepler, Johann (1609). *Astronomia Nova seu physica coelestis, tradita commentariis de motibus stellae martis*. Heidelberg: Voegelin.
- (1619). *Harmonices Mundi Libri V*. Francofurti: Tampachius.
- (1627). *Tabulae Rudolphinae, quibus astronomicae scientiae, temporum longinquitate collapsae restauratio continentur*. Ulm: Jonas Saur.
- Kihara, Daisuke, Chen, Hao und Yang, Yifeng D. (2009). "Quality assessment of protein structure models". In: *Curr Protein Pept Sci* 10 (3), S. 216–228.
- Kottas, M., Marchlewski, M., Polte, C., Strüver, V. und Witte, K. (2011). „Konzeptionelle Überlegungen zum Nachweis einer Ursache-Wirkungs-Beziehung in klinischen Studien“. In: *Deutsche Zeitschrift für Klinische Forschung* 11 (12), S. 77–81.
- Kragh, Helge (1999). *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*. Princeton: Princeton University Press.
- Kuhn, Thomas S. (1978). *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894–1912*. New York: Oxford University Press.
- Kumar, Manjit (2009). *Quanten: Einstein, Bohr und die große Debatte über das Wesen der Wirklichkeit*. Berlin: Berlin Verlag.
- Lengauer, Thomas, Albrecht, Mario und Domingues, Francisco S. (2012). "Computational Biology". In: *Systems Biology. Advances in Molecular Biology and Medicine*, ed. Meyers RA Heidelberg: Wiley-VCH, S. 277–348.
- Lengauer, Thomas und Kaiser, Rolf (2009). „Computerjagd auf das AIDSvirus“. In: *Spektrum der Wissenschaft* (August), S. 62–67.
- Lengauer, Thomas und Sing, Tobias (2006). "Bioinformatics-assisted anti-HIV therapy". In: *Nat Rev Microbiol* 4 (10), S. 790–797.
- Levin, Jonathan D. und Einav, Lirian (2014). "The data revolution and economic analysis". In: *NBER Innovation Policy and the Economy* 14, S. 1–24.
- Lusher, Scott J., McGuire, Ross, van Schaik, René C., Nicholson, C. David und de Vlieg, Jacob (2014). "Data-driven medicinal chemistry in the era of big data". In: *Drug Discov Today* 19 (7), S. 859–868.
- Marks, Debora S. et al. (2011). "Protein 3D Structure computed from evolutionary sequence variation". In: *PLoS ONE* 6 (12), e28766.
- Matthews, Robert (2000). "Storks deliver babies ($p = 0.008$)". In: *Teaching Statistics* 22 (2), S. 36–38.

- Mooij, Jorris M., Peters, Jonas, Janzing, Dominik, Zscheischler, Jakob und Schölkopf, Bernhard (2015). "Distinguishing Cause and effect using observational data: Methods and benchmarks." USA, Cornell: arXiv.
- Newton, Isaac (1687). *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Londini: Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater.
- Pearl, Judea (2009). *Causality: Models, Reasoning and Inference*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pennisi, Elizabeth (2010). "Genomics. 1000 Genomes Project gives new map of genetic diversity". In: *Science* 330 (6004), S. 574–575.
- Planck, Max (1900). *Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum. Verhandlungen. der deutschen Physikalischen Gesellschaft* 2 (17), S. 237–245.
- Rajan, Krishna (2015). "Materials informatics: The materials 'gene' and big data". In: *Annual Review of Materials Research* 45 (1), S. 153–169.
- Resag, Jörg (2013). *Die Entdeckung des Unteilbaren: Quanten, Quarks und die Entdeckung des Higgs-Teilchens*. Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum Verlag.
- Rost, Burkhard (1999). "Twilight zone of protein sequence alignments". In: *Protein Eng* 12 (2), S. 85–94.
- Sander, Chris und Schneider, Reinhard (1991). "Database of homology-derived protein structures and the structural meaning of sequence alignment". In: *Proteins* 9 (1), S. 56–68.
- Schrödinger, Erwin (192a). „Quantisierung als Eigenwertproblem 2“. In: *Annalen der Physik* 384 (6), S. 489–527.
- (1926b). „Quantisierung als Eigenwertproblem 3“. In: *Annalen der Physik* 385 (13), S. 437–490.
- (1926c). „Quantisierung als Eigenwertproblem 4“. In: *Annalen der Physik* 386 (18), S. 109–139.
- (1926d). „Quantisierung als Eigenwertproblem 1“. In: *Annalen der Physik* 384 (4), S. 361–376.
- Schwede, Torsten (2013). "Protein modeling: What happened to the 'protein structure gap'?" In: *Structure* 21 (9), S. 1531–1540.
- Sellars, Scott et al. (2013). "Computational Earth Science: Big Data Transformed Into Insight". In: *Eos, Transactions American Geophysical Union* 94 (32), 277–278.
- Sham, Pak C. und Purcell, Shaun M. (2014). "Statistical power and significance testing in large-scale genetic studies". In: *Nat Rev Genet* 15 (5), S. 335–346.
- Stephenson, Bruce (1987). *Kepler's physical astronomy*. New York: Springer.
- Thielen, Alexander und Lengauer, Thomas (2012). "Geno2pheno[454]: A web server for the prediction of HIV-1 coreceptor usage from next-generation sequencing data". In: *Intervirology* 55 (2), S. 113–117.
- Vineis, Paolo (2003). "The randomized controlled trial in studies using biomarkers". In: *Biomarkers* 8 (1), S. 13–32.
- Vitolo, Claudia, Elkhatab, Yehia, Reusser, Dominik, Macleod, Christopher J. A. und Buytaert, Wouter (2015). "Web technologies for environmental Big Data". In: *Environmental Modelling & Software* 63, S.185–198.
- Wagner, Gert G. (2008). „Leibniz und die (Amtliche) Statistik“. In: *Working Papers des Rats für Sozial- und Wirtschaftsdaten* 39, S. 1–7.
- Wolynes, Peter G. (2015). "Evolution, energy landscapes and the paradoxes of protein folding". In: *Biochimie* 119, S. 218–230.
- Zazzi, Maurizio et al. (2012). "Predicting response to antiretroviral treatment by machine learning: The EuResist project". In: *Intervirology* 55 (2), S. 123–127.

Verschlüsselung und die Grenzen der Geheimhaltung

Verschlüsselung ist eine Technik zur Geheimhaltung von Informationen. Sie wird seit Jahrhunderten genutzt – lange Zeit vor allem vom Militär. Im Zeitalter des Internet ist Verschlüsselung allgegenwärtig. Täglich nutzen wir Methoden zur Geheimhaltung, ohne uns dessen bewusst zu sein: zum Beispiel bei Einkäufen und Banktransaktionen im Internet, beim Bezahlen mit der EC-Karte oder bei der Nutzung von Pay-TV.

Aber wie funktioniert Verschlüsselung? Was sind die Grundlagen der Kryptographie, der Wissenschaft der Verschlüsselung? Unterscheiden sich heute verwendete Methoden von früheren Verfahren? Wie hat sich Verschlüsselung im Lauf der Jahrhunderte weiterentwickelt? Gibt es Grenzen der Geheimhaltung?

1 *Verschlüsselung vor dem Internetzeitalter: Kunst und Wissenschaft*

Vor mehr als 2500 Jahren verschlüsselten die Spartaner mit der Skytale (Abb. 1). Zur Verschlüsselung diente ein Holzstab. Auf den Stab wickelte der Absender ein Pergamentband oder einen Lederstreifen wendelförmig auf. Er schrieb die Botschaft längs des Stabs auf das Band und wickelte es dann wieder ab. Das Band ohne Stab war der verschlüsselte Text. Wenn der Empfänger einen Stab mit demselben Durchmesser wie der Sender hatte, konnte er die Nachricht entschlüsseln, indem er das Band auf diesen Stab wickelte. Wer den Durchmesser nicht kannte, konnte die Nachricht nicht entschlüsseln.

Nach diesem Prinzip funktionieren alle *symmetrischen Verschlüsselungsverfahren*: Sender und Empfänger kennen einen geheimen Schlüssel. Der Sender verschlüsselt einen *Klartext* mit diesem Schlüssel. Dabei entsteht ein *Chiffretext*. Der Sender schickt den Chiffretext an den Empfänger.



Abbildung 1. Skytale von Sparta

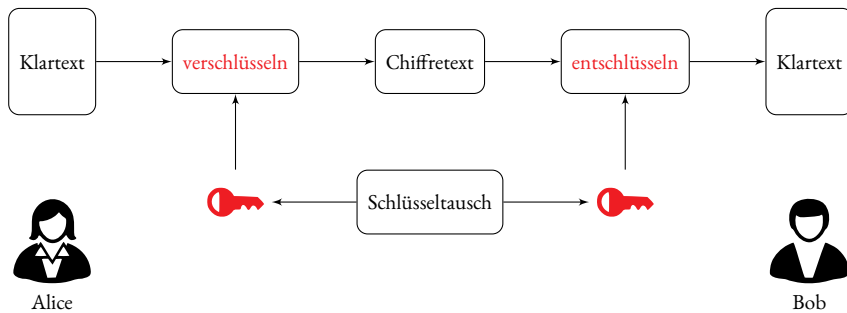


Abbildung 2. Symmetrische Verschlüsselung

Der Empfänger benutzt den geheimen Schlüssel, um den Chiffretext wieder zu entschlüsseln und den Klartext zu bekommen. Bei der Skytale ist der geheime Schlüssel der Durchmesser des Stabs.

Um ein symmetrisches Verschlüsselungsverfahren anwenden zu können, müssen sich Sender und Empfänger vorher auf einen geheimen Schlüssel einigen. Diesen Vorgang nennt man *Schlüsselvereinbarung* oder *Schlüsselaustausch*. Natürlich muss die Schlüsselvereinbarung so geschehen, dass niemand außer dem Sender und dem Empfänger Kenntnis von dem Geheimnis bekommen kann. Zum Beispiel können vertrauenswürdige Kuriere den geheimen Schlüssel überbringen.

Ein anderes bekanntes Beispiel für ein antikes Verschlüsselungsverfahren ist die Caesar-Chiffre. Caesar verschlüsselte Nachrichten, indem er jeden Buchstaben aus dem Klartext durch den Buchstaben ersetzte, der drei Positionen weiter im Alphabet steht. So wird zum Beispiel A durch D ersetzt oder E durch H. Dieses Verschlüsselungsverfahren wurde noch während des amerikanischen Bürgerkrieges (1861–1865) genutzt. Dabei wurde eine Chiffrierscheibe eingesetzt, wie sie in Abb. 3 zu sehen ist. Die Buchstaben im inneren Kreis werden bei der Verschlüsselung jeweils durch die Buchstaben im äußeren Kreis ersetzt. Dabei wird klar, dass Buchstaben am Ende des Alphabets durch Buchstaben am Anfang des Alphabets ersetzt werden, also X durch A, Y durch B und Z durch C. So wird zum Beispiel der Klartext KRANICH zum Chiffretext NUDQLFK. Der geheime Schlüssel ist der Abstand zwischen Klartext- und Chiffretextbuchstaben, in der Originalversion von Caesar also 3.

Wie sicher ist dieses Verschlüsselungsverfahren? Der verschlüsselte Text zeigt keinen unmittelbaren Zusammenhang zum Klartext. Wer das Prinzip der Verschlüsselung nicht kennt, tappt im Dunkeln, was dieser Chiffretext bedeuten soll. Wer aber das Verschlüsselungsprinzip, jeden Buchstaben durch einen anderen zu ersetzen, der eine feste Anzahl von Positionen weiter im Alphabet steht, kennt, der erhält den Klartext durch Ausprobieren aller 26 Möglichkeiten. Voraussetzung dafür, dass ein solches Verschlüsselungsverfahren Schutz bietet, ist also *Security by Obscurity*: nicht nur der Schlüssel, sondern auch das Verschlüsselungsverfahren bleibt geheim. Aber selbst das genügt hier nicht. Eine sogenannte Häufigkeitsanalyse erlaubt die Entschlüsselung. Dabei wird die Häufigkeit der Buchstaben im Chiffretext ermittelt. Der häufigste Buchstabe entspricht dem häufigsten Buchstaben in der Ausgangssprache. Im Deutschen ist das E. Der zweithäufigste



Abbildung 3. Beispiel einer Chiffrierscheibe – Reproduktion einer Chiffrierscheibe wie sie im amerikanischen Bürgerkrieg (1861–1865) genutzt wurde. CSA steht für „Confederate States of America“, S. S. steht für „Secret Service“

Buchstabe in Verschlüsselungen von deutschen Texten entspricht den zweithäufigsten Buchstaben in deutschen Texten, nämlich N. Der Chiffretext gibt also Informationen über den Klartext preis und kann erfolgreich entschlüsselt werden.

Wie können dann sichere Verschlüsselungsverfahren konstruiert werden? Diese Frage stellte sich auch schon Gottfried Wilhelm Leibniz im 17. Jahrhundert. Er entwickelte das Konzept für eine *Machina Deciphratoria*. Sie wurde zwar nie verwendet, ist aber ein Vorläufer der Verschlüsselungsmaschine *Enigma*, die im 20. Jahrhundert eine wichtige Rolle spielte. Die Enigma wurde von dem deutschen Elektroingenieur Arthur Scherbuis 1918 patentiert und danach vom deutschen Militär verwendet. Diese Maschine, die in Abb. 4 gezeigt ist, sieht aus wie eine Schreibmaschine. Der Klartext wird auf einer Tastatur eingegeben.

In der Enigma befinden sich mindestens drei und in späteren Exemplaren vier drehbar angeordnete Walzen. Sie haben auf beiden Seiten 26 elektrische Kontakte für die 26 Buchstaben des Alphabets. Die Kontakte sind im Inneren der Walze in verschiedenen Varianten verdrahtet,



Abbildung 4. Enigma mit vier Rotoren (Enigma T „Tirpitz“)

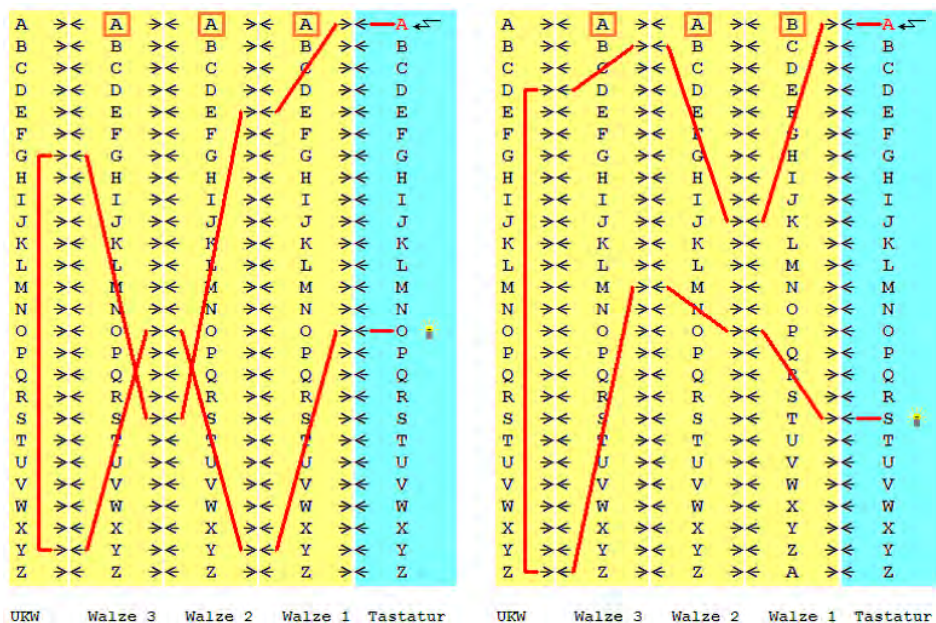


Abbildung 5. Schematische Darstellung zwei aufeinanderfolgender Verschlüsselungen des Buchstaben „A“ mit Hilfe einer Enigma mit drei Walzen. Die Abkürzung UKW steht für Umkehrwalze.

so dass nie ein Kontakt durch sich selbst verschlüsselt wird. Drückt man eine Buchstabetaste, so fließt elektrischer Strom von einer in der Enigma befindlichen 4,5 Volt Batterie über die gedrückte Taste durch den Walzensatz und lässt eine Anzeigelampe aufleuchten. Der aufleuchtende Buchstabe ist die Verschlüsselung des gedrückten Buchstaben. Jetzt wäre immer noch eine Häufigkeitsanalyse möglich, die im Zusammenhang mit der Caesar-Chiffre beschrieben wurde. Das wird aber verhindert. Bei jedem Tastendruck drehen sich nämlich die Walzen ähnlich wie bei einem mechanischen Kilometerzähler weiter. Dadurch werden die Buchstaben jedes Mal anders verschlüsselt (und nicht wie beim Caesar-Chiffre immer auf die gleiche Art). In Abb. 5 wird bei der Grundeinstellung der gewählten Walzen der Buchstabe A zunächst zum Buchstaben O verschlüsselt. Dann dreht sich die erste Walze um eine Position weiter. Jetzt wird A zu S verschlüsselt. Der geheime Schlüssel der Enigma ist die Ausgangsposition der Walzen. Zuerst wurde versucht, auch die Verdrahtungen im Inneren der Walzen geheim zu halten. Sie wurde aber bekannt, weil verschiedene Enigma-Varianten gestohlen wurden.

Im Laufe der Zeit wurde die Enigma noch komplexer. Die Enigma-Walzen konnten aus einem Satz von bis zu fünf Walzen ausgewählt werden, die unterschiedlich verdrahtet waren. Die Anzahl der möglichen Grundeinstellungen und damit die Anzahl der verfügbaren Schlüssel war in der kompliziertesten Enigma etwa 10^{26} . Die alle durchzuprobieren würde auf dem heutzutage schnellsten Superrechner der Welt etwa 10 000 Jahre dauern. Trotzdem wurde eine einfache Version von polnischen Mathematikern entschlüsselt. Für die Entschlüsselung der komplizier-

K	R	A	N	I	C	H
3	13	15	3	21	20	22
N	E	P	Q	D	W	D

Verschlüsselung des Klartextes „KRANICH“

N	E	P	Q	D	W	D
3	13	15	3	21	20	22
K	R	A	N	I	C	H

Entschlüsselung des Chiffretextes „NEPQDWD“

Abbildung 6. Ver- und Entschlüsselung mit Hilfe einer erweiterten Caesar-Chiffre

teren Varianten entstand im englischen Bletchley Park, dem damaligen britischen Zentrum für Kryptoanalyse, die *Turing-Bombe*. Diese Entschlüsselungsmaschine beruhte auf Ideen der polnischen Kollegen. Sie ist nach dem berühmten englischen Mathematiker Alan Turing (1912–1954) benannt, der an ihrer Entwicklung maßgeblich beteiligt war. Die Turing-Bombe nutzte zum Beispiel Schwächen bei der Verwendung der Enigma aus. So wurden damals alle Funksprüche an deutsche U-Boote verschlüsselt, zum Beispiel auch Wetterberichte. Aber die Wetterberichte waren öffentlich bekannt. So kannten die Alliierten den Klartext, also den Wetterbericht, und den Schlüsseltext, den sie abgehört hatten. Die Kenntnis solcher Kombinationen erleichterte die Entschlüsselung erheblich. Die Möglichkeit, die Chiffretexte der Enigma zu entschlüsseln, trug wesentlich zum Ende des Zweiten Weltkriegs und zur Niederlage der Deutschen bei.

So kompliziert die Enigma auch konstruiert war, so wenig konnte sie Sicherheit garantieren. Die Verschlüsselungsmethode der Enigma war Ingenieurskunst. Es gab aber kein wissenschaftliches Indiz dafür, dass die Enigma tatsächlich sicher war. Und schließlich war sie es ja auch nicht.

Wünschenswert wäre also eine beweisbar sichere Verschlüsselung. Dass diese möglich ist, bewies der amerikanische Mathematiker und Elektrotechniker Claude Shannon (1916–2001) im Jahr 1948. Ein nach Shannon beweisbar sicheres Verschlüsselungsverfahren funktioniert wie folgt: Angenommen das Wort KRANICH soll verschlüsselt werden. Zur Verschlüsselung wird die Caesar-Chiffre verwendet, allerdings wird für jeden Buchstaben ein neuer Schlüssel zufällig gewählt.

In Abb. 6 ist das dargestellt. Für die sieben Buchstaben werden nacheinander die Schlüssel 3, 13, 15, 3, 21, 20, 22 gewählt. Der erste Buchstabe K wird zum Beispiel durch den drei Stellen weiter im Alphabet stehenden Buchstaben N verschlüsselt. Der zweite Buchstabe R wird jedoch durch den 13 Stellen weiter im Alphabet stehenden Buchstaben E ersetzt. So ergibt sich der Schlüsseltext NEPQDWD. Die gewählten Schlüssel erlauben auch die Entschlüsselung. Dann wird aus NEPQDWD wieder KRANICH. Wie können Angreifer ohne Kenntnis der geheimen Schlüssel aus dem Chiffretext NEPQDWD den Klartext ermitteln? Sie wissen, dass die Schlüssel zufällig gewählt wurden. Es bleibt ihnen also nichts anderes übrig, als zu raten. Wenn sie zum Beispiel die Schlüssel 12, 10, 23, 24, 3, 5, 0 raten, so erhalten sie den Klartext BUSSARD. Werden dagegen 24, 0, 4, 8, 19, 22, 16 als Schlüssel geraten, so lautet der entsprechende Klartext PELIKAN.

Auf diese Weise kann sich jeder Vogelname mit sieben Buchstaben ergeben, ja sogar jedes Wort mit sieben Buchstaben. Keiner der möglichen Klartexte ist wahrscheinlicher als ein anderer, weil die Schlüssel zufällig gewählt wurden. Mit anderen Worten: der Chiffretext enthält keinerlei Informationen über den Klartext. Ein solches Verschlüsselungsverfahren nennt man *informationstheoretisch sicher*.

N	E	P	Q	D	W	D
12	10	23	24	3	5	0
B	U	S	S	A	R	D
24	0	4	8	19	22	16
P	E	L	I	K	A	N
3	16	4	8	2	5	21
K	O	L	I	B	R	I

Abbildung 7. Mögliche Klartexte zum Chiffretext „NEPQDWD“

Mathematisch gesprochen: Auf den Klartexten gibt es eine Wahrscheinlichkeitsverteilung $\Pr$, die jedem Klartext P eine Wahrscheinlichkeit $\Pr(P)$ zuordnet. Sie reflektiert den Kommunikationskontext. Wenn zum Beispiel zwei Ornithologen kommunizieren, ist es wahrscheinlicher, dass Namen von Vögeln vorkommen als bei zwei Fußballtrainerinnen. Bei informationstheoretisch sicheren Verschlüsselungsverfahren ändert sich diese Wahrscheinlichkeit nicht, wenn ein Schlüsseltext C bekannt wird. Die bedingte Wahrscheinlichkeit $\Pr(P|C)$ und die unbedingte Wahrscheinlichkeit $\Pr(P)$ sind gleich.

Informationstheoretisch sichere Verschlüsselung klingt vielversprechend. Die entsprechenden Verfahren sind aber nicht besonders praktisch. Die Schlüssel müssen genauso lang sein wie die verschlüsselten Texte. Wenn also ein Text von 2000 Zeichen verschlüsselt werden soll, muss vorher ein Schlüssel ausgetauscht werden, der aus 2000 Zahlen besteht. Außerdem muss bei jeder Verschlüsselung ein neuer Schlüssel gewählt werden. Darum nennt man das beschriebene Verfahren auch *One-Time-Pad*.

Das One-Time-Pad wird verwendet, um sehr sicherheitskritische Kommunikation zu verschlüsseln. Dabei kann heutzutage der *Quantenschlüsselaustausch* zum Einsatz kommen. Dabei sind die beiden Kommunikationspartner mit einem Glasfaserkabel verbunden. Durch das Glasfaserkabel werden polarisierte Photonen geschickt. Richtig implementiert ist dieses Verfahren sicher, solange die Gesetze der Quantenmechanik gelten. Für diejenigen, die daran glauben, dass diese Gesetze ewig gültig sind, bedeutet das: informationstheoretische Sicherheit. Die Entwicklung dieser Technologie steht noch vor etlichen Herausforderungen. Sie wird aber an vielen Orten der Welt erforscht und sogar schon praktisch eingesetzt. Zum Beispiel konnte in Japan eine stabile, mit Quantenschlüsseln gesicherte, Videokonferenz durchgeführt werden. Die Gesprächsteilnehmenden waren immerhin 45 km voneinander entfernt. Die Quanten-Technologie kann also einen wichtigen Beitrag dazu leisten, Kommunikation langfristig vertraulich zu halten.

In der Praxis spielt informationstheoretisch sichere Verschlüsselung eine sehr untergeordnete Rolle. Stattdessen werden heute moderne symmetrische Verschlüsselungsverfahren eingesetzt, an der Spitze der *Advanced Encryption Standard* AES. AES verwendet Schlüssel, die aus 128 bis 256 Bits bestehen. Diese Schlüssel können mehrfach verwendet werden. Einen Sicherheitsbeweis für AES oder ähnliche Verfahren gibt es bis jetzt nicht. Warum gelten diese Verfahren also als sicher? Es gibt mathematische Untersuchungen zur Sicherheit und viele Kryptographen aus der ganzen Welt haben diese Sicherheit untersucht. Gäbe es Schwächen, so wären sie bereits entdeckt und in der globalisierten Welt öffentlich bekannt, weil so viele intelligente Forscher sich damit beschäftigt haben. Aber das ist kein mathematischer Beweis, sondern reine Spekulation.

2 Verschlüsselung im Internetzeitalter: Die Bedeutung der Zahlentheorie

Im Internet ist der Schutz der Kommunikation durch Verschlüsselung wichtiger denn je. Wer zum Beispiel im Internet einkauft oder seine Bankgeschäfte über das Internet macht, meldet sich normalerweise mit einem Passwort an. Wer das Passwort kennt, gelangt an viele Informationen. Er erfährt zum Beispiel die Banktransaktionen des Passwortinhabers. Um zu verhindern, dass Passwörter entwendet und unerlaubt genutzt werden können, werden sie verschlüsselt übertragen. Allerdings genügt symmetrische Verschlüsselung für diesen Zweck nicht. Das Problem ist die Schlüsselvereinbarung zwischen Kunden und Anbietern. Banken oder Internethändler müssten bei Verwendung symmetrischer Verschlüsselung mit jedem Kunden einen geheimen Schlüssel austauschen. Das ist bei den Milliarden von Internetnutzern viel zu aufwändig.

Ende der 1970er Jahre hatten Whitfield Diffie (*1944) und Martin Hellman (*1945) eine bahnbrechende Idee: die *asymmetrische Kryptographie*, auch *Public-Key-Kryptographie* genannt. Anstatt denselben Schlüssel für Ver- und Entschlüsselung zu benutzen, verwendet die asymmetrische Kryptographie ein Schlüsselpaar. Es besteht aus einem öffentlichen Schlüssel zum Verschlüsseln und einem geheimen Schlüssel zum Entschlüsseln.

Der entscheidende Punkt: der geheime Schlüssel zum Entschlüsseln lässt sich nicht aus dem öffentlichen Schlüssel zum Verschlüsseln berechnen. Also braucht man den Verschlüsselungsschlüssel nicht mehr geheim zu halten. Er kann veröffentlicht werden. Der Entschlüsselungsschlüssel bleibt dagegen geheim. In Abb. 8 ist Bob der Empfänger geheimer Nachrichten. Er erstellt einen privaten Schlüssel (rot) und einen öffentlichen Schlüssel (grün). Anschließend speichert er den öffentlichen Schlüssel zusammen mit seinem Namen in einer öffentlichen Datenbank. Von dort kann Alice Bobs öffentlichen Schlüssel herunterladen. Vertrauliche Nachrichten an Bob verschlüsselt Alice mit diesem öffentlichen Schlüssel. Bob kann den Chiffretext mit seinem geheimen Schlüssel entschlüsseln.

Ein Onlineshop kann also seinen Verschlüsselungsschlüssel in ein öffentliches Verzeichnis schreiben. Jeder, der sein Passwort an den Onlineshop übermitteln möchte, kann es mit diesem

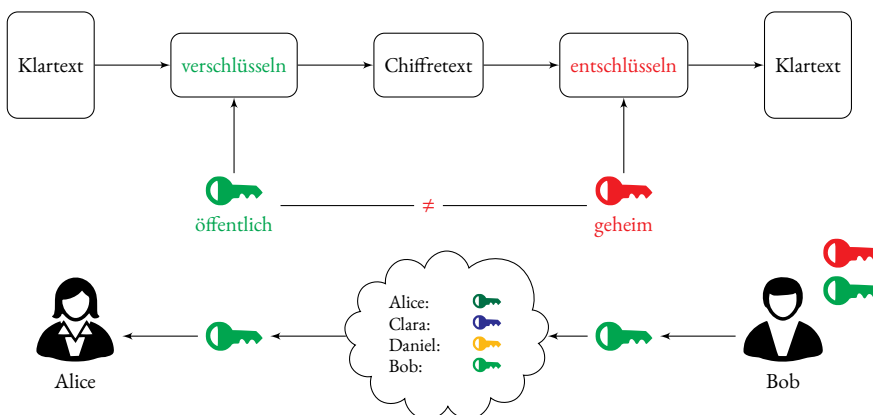


Abbildung 8. Asymmetrische Verschlüsselung

Schlüssel verschlüsseln. Nur der Onlineshop kann die Kundenpasswörter entschlüsseln, weil sonst niemand den Entschlüsselungsschlüssel kennt.

Asymmetrische Kryptographie ist eine tolle Idee. Nur ist sie nicht so leicht zu realisieren. Jedenfalls kann sie nicht mit traditionellen symmetrischen Verschlüsselungsverfahren umgesetzt werden. Im Jahr 1978 hatten Ron Rivest (*1947), Adi Shamir (*1952) und Leonard Adleman (*1945) einen genialen Einfall. Sie erfanden das erste asymmetrische Verschlüsselungsverfahren, das sogenannte *RSA-Verfahren*. Seine Grundlagen stammen aus der Zahlentheorie, einer der ältesten Disziplinen der Mathematik.

Erste Zeugnisse der Zahlentheorie finden sich schon bei den Babyloniern im zweiten Jahrtausend vor Christus. Auch im antiken Griechenland spielte die Zahlentheorie eine wichtige Rolle. Sie beschäftigt sich zum Beispiel mit Primzahlen, also natürlichen Zahlen, die außer 1 und sich selbst keine Teiler haben. Die ersten Primzahlen sind 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17. Aber auch

```
107150860718626732094842504906000181056140481170553360744375038837035105112
493612249319837881569585812759467291755314682518714528569231404359845775746
985748039345677748242309854210746050623711418779541821530464749835819412673
987675591655439460770629145711964776865421676604298316526243868372056680696
73837205668069673
```

ist eine Primzahl.

Gibt es noch größere Primzahlen? Tatsächlich konnte schon Euklid im dritten Jahrhundert vor Christus beweisen, dass es beliebig große Primzahlen gibt. Die Idee von Rivest, Shamir und Adleman beruht auf dem Folgenden: Es ist leicht mit modernen Computern zwei große Primzahlen miteinander zu multiplizieren (im RSA-Verfahren werden heute etwa 300-stellige Primzahlen verwendet). Aus dem Produkt die Primfaktoren zu rekonstruieren, würde aber auf den modernsten Supercomputern Millionen von Jahren dauern. Im RSA-Verfahren wird ein solches Produkt, auch *RSA-Modul* genannt, zum Verschlüsseln benutzt. Die beiden Primfaktoren werden zum Entschlüsseln verwendet.

Der öffentliche Schlüssel des Onlinehändlers Amazon.de ist zum Beispiel folgender 617-stelliger RSA-Modul

```
203721360095143203790182033916393188112205660519691048847000499088939306196
222212783090739697685582085529848899970268717264627371207206293943108591238
381529257345025531619472745926437590763659485111807347783328749513985611138
506051297482402189124771566888135600113157803877572888854355193788258224662
055601519744796290579889036321270442805498230585129942374964573903081105993
846409714010184677691944598325087582935275396114186388632447235452544979811
038962305533734710677365539658218357221593759418027517289546369481509725310
174221727764344698981417513496190241191451240810959620280115336530051981100
84245661835023051.
```

Er ist das Produkt von zwei über 300-stelligen Primzahlen, die aber nur Amazon kennt. Jeder kann den RSA-Modul von Amazon verwenden, um seine Amazon-Passwörter zu verschlüsseln. Aber nur Amazon kann sie entschlüsseln.

Wie funktioniert das RSA-Verschlüsselungsverfahren nun im Einzelnen? Die Erklärung erfordert ein bisschen Mathematik.

Zuerst muss man verstehen, wie Modulo-Rechnen funktioniert. Wir beginnen mit einem einfachen Beispiel: Wir verwenden die Zahl $n = 391$. Es ist

$$393 \equiv 2 \pmod{391}. \quad (13.1)$$

Zahlen dürfen beim Rechnen modulo 391 nämlich durch die Reste bei der Division durch 391 ersetzt werden. Daher ist auch

$$19^3 \equiv 212 \pmod{391}. \quad (13.2)$$

Das kann man leicht nachprüfen. Man berechnet $19^3 = 6859$. Anschließend teilt man das Ergebnis 6859 mit Rest durch 391. Es zeigt sich, dass $6859 = 17 \cdot 391 + 212$ ist. Also ist 212 der Rest bei der Division von 6859 durch 391.

Aus dieser Rechnung wird deutlich, dass es nicht schwer ist, dritte Potenzen modulo 391 auszurechnen. Und wie steht es damit, dritte Wurzeln modulo 391 zu ziehen? Also zum Beispiel aus 75? Das ist komplizierter. Was ist zum Beispiel $\sqrt[3]{75}$ modulo 391?

Zuerst stellt man fest, dass 391 das Produkt von zwei Primzahlen ist, nämlich $p = 17$ und $q = 23$. Als nächstes berechnet man

$$(p-1)(q-1) = (17-1)(23-1) = 352 \quad (13.3)$$

und findet eine Zahl d mit der Eigenschaft

$$3 \cdot d \equiv 1 \pmod{352}. \quad (13.4)$$

Diese Zahl ist

$$d = 235. \quad (13.5)$$

Das lässt sich wieder leicht nachprüfen. Es ist nämlich $3 \cdot 235 = 705$ und $705 \equiv 1 \pmod{352}$. Jetzt kann die dritte Wurzel aus 75 modulo 391 berechnet werden, indem man 75^{235}

$$\sqrt[3]{75} \equiv 75^{235} \equiv 31 \pmod{391} \quad (13.6)$$

bestimmt. Wie soll man das nachprüfen? 75^{235} ist eine riesige Zahl. Der Trick ist, dass man schon zwischendurch modulo 391 rechnen darf, also

$$\begin{aligned} 75^{235} &\equiv 75^{234+1} \equiv (75^2)^{117} \cdot 75 \equiv 151^{117} \cdot 75 \\ &\equiv 151^{116+1} \cdot 75 \equiv 151^{116} \cdot 151 \cdot 75 \equiv (151^2)^{58} \cdot 11325 \\ &\equiv 123^{58} \cdot 377 \equiv (123^2)^{29} \cdot 377 \equiv (271^2)^{14} \cdot 116 \\ &\equiv \dots \equiv 31 \pmod{391}. \end{aligned}$$

Tatsächlich ist

$$\begin{aligned} 31^3 &\equiv 961 \cdot 31 \equiv (2 \cdot 391 + 179) \cdot 31 \equiv 179 \cdot 31 \\ &\equiv 5549 \equiv 14 \cdot 391 + 75 \\ &\equiv 75 \pmod{391}. \end{aligned}$$

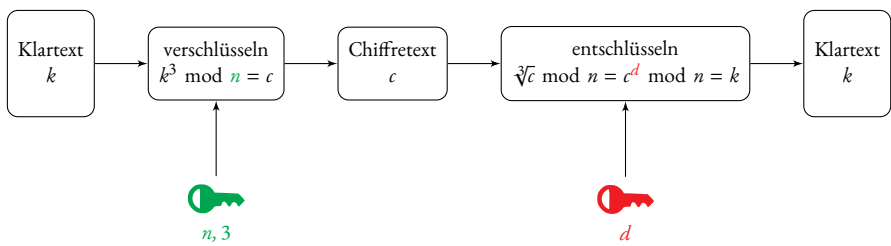


Abbildung 9. Das RSA-Verschlüsselungsverfahren

Dieses Verfahren funktioniert auch für den RSA-Modul von Amazon. Die Primzahlen p und q sind dann die Primfaktoren dieses RSA-Moduls. Oder noch allgemeiner: Es lassen sich auf diese Weise auch andere Wurzeln berechnen. Die Zahl 3 wird dabei durch den entsprechenden Exponenten ersetzt. Das funktioniert, solange der Exponent zu $(p - 1) \cdot (q - 1)$ teilerfremd ist. Dass das Verfahren stimmt, liegt an einem berühmten Ergebnis des Juristen und Mathematikers Pierre de Fermat (1607–1665). Dies genau darzustellen, ist hier aber leider zu kompliziert.

Entscheidend ist: Potenzieren kann jeder, der den RSA-Modul und den Exponenten kennt. Die entsprechende Wurzel zu berechnen, erfordert aber die Kenntnis der Primfaktoren des RSA-Moduls. Jetzt ist es leicht, das RSA-Verfahren zu beschreiben. Der öffentliche Schlüssel ist der RSA-Modul n und der Exponent e , mit dem potenziert wird, zum Beispiel 3. Verschlüsselt wird durch Potenzieren mit e modulo n . Der geheime Schlüssel ist der Exponent d , den man nur mit Hilfe der beiden Primfaktoren p und q des RSA-Moduls berechnen kann. Entschlüsselt wird durch Ziehen der e -ten Wurzel. Dies entspricht dem Potenzieren mit d modulo n .

Ist das RSA-Verfahren praktisch? Jedenfalls nicht, wenn man es naiv anwendet und versucht, damit sehr lange Nachrichten zu verschlüsseln. Dazu ist es zu langsam. In der Praxis kommt eine *Hybrid-Methode* zum Einsatz: Nachrichten werden mit einem symmetrischen Verfahren verschlüsselt. Die Absenderin wählt einen Schlüssel für ein symmetrisches Verschlüsselungsverfahren. Damit verschlüsselt sie ihre Nachricht. Den symmetrischen Schlüssel verschlüsselt sie mit dem öffentlichen RSA-Schlüssel des Empfängers, dem sie beide Chiffretexte schickt. Der Empfänger verwendet seinen geheimen Schlüssel und erhält den symmetrischen Schlüssel. Damit kann er die Nachricht entschlüsseln. Das RSA-Verfahren wird hier also für den Schlüsseltransport benutzt. Die beschriebene Hybrid-Methode ist schematisch in Abb. 10 dargestellt.

Und wie steht es mit der Sicherheit des RSA-Verfahrens? Heute geht man davon aus, dass RSA so lange sicher ist, wie man die RSA-Moduli nicht faktorisieren kann. Bewiesen ist das aber

Tabelle 1. Größe von sicheren RSA-Moduli

Sicher bis zum Jahr	1980	1990	2000	2010	2016	2020	2030	2040	2050
Anzahl Dezimalstellen des RSA-Moduls	105	162	244	335	383	417	511	616	735

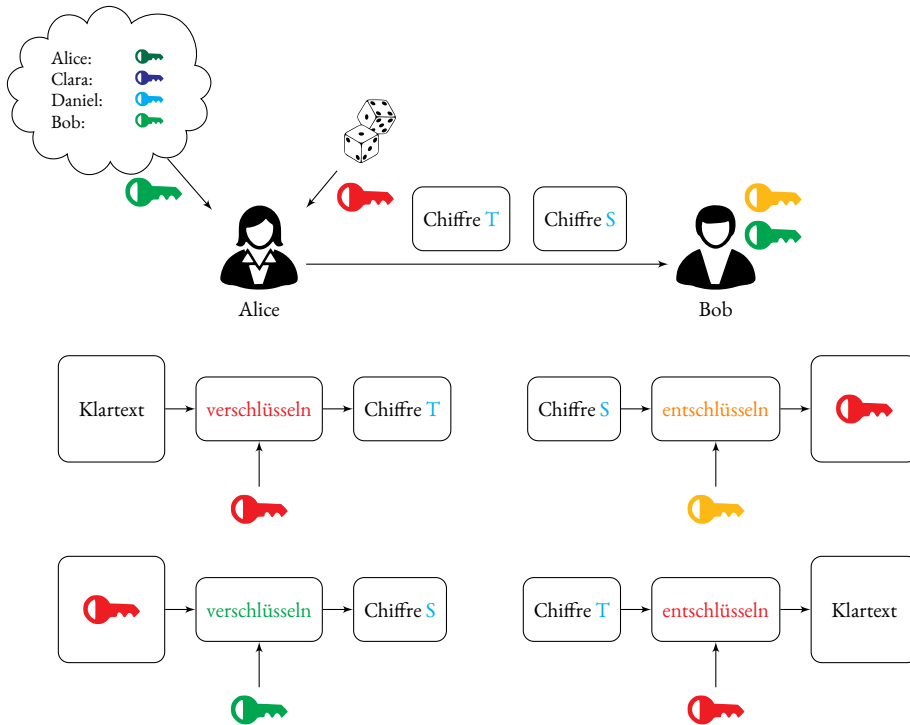


Abbildung 10. Hybrid-Methode aus asymmetrischer und symmetrischer Verschlüsselung

nicht. Aber gehen wir einfach mal davon aus. Dann müssen RSA-Moduli verwendet werden, die groß genug sind.

In ihrer Veröffentlichung des RSA-Verfahrens schrieben die Autoren 1978: “[U]sing 200 digits provides a margin of safety against future developments”. Diese Aussage hat sich als viel zu optimistisch erwiesen. Seitdem hat es bei der Lösung von Faktorisierungsproblemen viele Fortschritte gegeben. Nach aktuellem Forschungsstand erfordert bis zum Jahr 2040 sichere RSA-Verschlüsselung über 600-stellige RSA-Moduli. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die erwartete zukünftige Größe von sicheren RSA-Moduli.

Ist das RSA-Verfahren also ein sicheres Verschlüsselungsverfahren?

3 Quantencomputer und die Folgen

Anfang der 1980er Jahre schlug der Physiknobelpreisträger Richard Feynman (1918–1988) Quantencomputer für die Simulation quantenphysikalischer Experimente vor. Im Jahr 1994 wurden

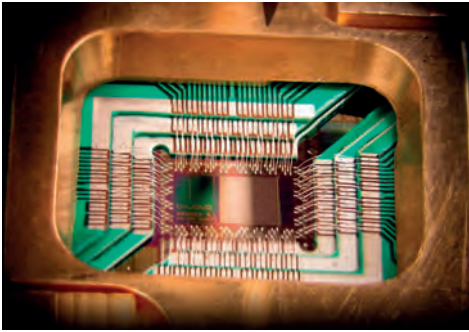


Abbildung 11. Photographie eines Prozessor-Chips produziert von D-Wave Systems, Inc.

Quantencomputer plötzlich bedeutsam für die Kryptographie. Der Mathematiker Peter Wiliston Shor (*1959) stellte nämlich einen Quantencomputer-Algorithmus vor, der sehr effizient Teiler von ganzen Zahlen berechnen kann. Dieser Algorithmus kann auch die geheimen Faktoren von RSA-Moduli finden. Berechnungen eines Quantencomputers nutzen die Prinzipien der Quantenphysik. Informationen werden dabei in quantenphysikalischen Zuständen, sogenannten *Qubits*, gespeichert, verarbeitet und übertragen. Für die Kryptographie bedeutet die Erfindung des Shor-Algorithmus, dass das RSA-Verfahren unsicher ist, sobald genügend große Quantencomputer gebaut werden können.

Es stellt sich also die Frage, ob jemals Quantencomputer konstruiert werden können, die groß genug sind, um komplizierte Berechnungen durchzuführen. Kleine Quantencomputer für sehr spezielle Aufgaben existieren bereits. Die größte Zahl, die mit dem Shor-Algorithmus auf einem Quanten-Computer bis jetzt faktorisiert wurde, ist 21. Das Forschungslabor IBM Research Lab Yorktown Heights im US-Bundesstaat New York hat bereits einen Quantencomputer mit fünf logischen Qubits entwickelt. Um die Rechenleistung heutiger Superrechner zu übertreffen, ist laut IBM ein Quantencomputer mit lediglich 50 logischen Qubits ausreichend. Ein anderes Beispiel ist *D-Wave Two*: eine von der kanadischen Firma D-Wave entwickelte und später von Google und NASA gekaufte Maschine, die für die Lösung mathematischer Optimierungsprobleme konstruiert wurde. Wissenschaftler sehen diese Maschine jedoch noch kritisch.

John Martinis, Forscher an der Universität von Santa Barbara und bei Google, plant, bis 2019 den ersten universellen Quantencomputer zu entwickeln. Manche Wissenschaftler schätzen die Wahrscheinlichkeit, dass das RSA-Verfahren bis zum Jahr 2031 gebrochen wurde, auf 50 %. Experten der Europäischen Union schätzen, dass universale Quantencomputer im Jahr 2035 existieren werden. Genaue Voraussagen kann niemand machen. Aber Forschungsinstitute, Geheimdienste und Unternehmen treiben mit großem Aufwand die Entwicklung von Quantencomputern voran. Die rasante Entwicklung im Bereich der Quantencomputer fördert auch die Forschung an Alternativen zum RSA-Verfahren. Wissenschaftler auf der ganzen Welt forschen im Bereich der sogenannten *Post-Quantum-Kryptographie* an Verfahren, die auch gegen Quantencomputer sicher sind. Eine Umstellung auf Post-Quantum-Verfahren wird heute schon vorbereitet.

4 Verschlüsselung – Schutz und Risiko

Früher war Verschlüsselung eine Kunst: Ingenieure erfanden komplizierte Verfahren, die Sicherheit bieten sollten. Mathematische Beweise der Sicherheit gab es noch nicht. Erst in den 1940er Jahren und besonders rasant seit den späten 1970er Jahren entwickelte sich die Kryptographie zu der Wissenschaft, die sie heute ist. Ihr Ideal ist es, die Sicherheit von Verschlüsselung durch mathematische Beweise zu begründen. So ist mathematisch perfekt sichere Verschlüsselung möglich. Sie ist aber sehr aufwändig und zum Beispiel im Internet nicht einsetzbar. Für das Internet geeignet ist die Public-Key-Verschlüsselung. Sie macht einen komplexen Schlüsselaustausch überflüssig und erlaubt die vertrauliche Kommunikation von vielen Millionen Teilnehmern. RSA, das wichtigste Public-Key-Verfahren, bezieht seine Sicherheit aus der praktischen Unmöglichkeit, die Primfaktoren der RSA-Moduli zu berechnen. Allerdings ist heute bekannt, dass große Quantencomputer das RSA-Verfahren brechen werden und solche Computer sind in der Entwicklung. Alternativen zu RSA sind in Vorbereitung.

Bleibt Verschlüsselung also doch ein ewiges Katz-und-Maus-Spiel? Die Erfahrung zeigt: heute verwendete Verschlüsselung wird in 20 Jahren unsicher sein. Ist 20 Jahre Vertraulichkeitsschutz genug? Zum Beispiel bei medizinischen Daten? Angesichts der fortschreitenden Digitalisierung müssen wir Methoden finden, die eine sichere Verschlüsselung langfristig gewährleisten.

Abbildungsnachweise

Tab. 1: keylength.com

Abb. 1: Wikimedia commons/CC BY-SA 3.0

Abb. 3: Crypto Museum (www.cryptomuseum.com)

Abb. 4: Gemeinfrei

Abb. 5: www.lotus7.de/programs/enigmaz/enigma.htm

Abb. 11: Wikimedia Commons, D-Wave Systems, Inc./CC BY 3.0

Teil III

Der Blick in die Sterne

Martin Grötschel

Einleitung

Die Einleitung zu diesem Thema im vorliegenden Band sollte wie folgt beginnen:

Schon immer waren die Menschen von den Sternen fasziniert, schon immer wollten sie wissen, was das Universum ist und wie die Sterne ihr Leben beeinflussen. Gottfried Wilhelm Leibniz hat sich natürlich auch mit diesen Fragen beschäftigt und wichtige Beiträge dazu geleistet, usw.

Standardisierte Formulierungen aus Radio oder Fernsehen nachahmend fahre ich stattdessen fort: „Aus gegebenem Anlass müssen wir unser Programm ändern.“ Und das mache ich jetzt.

Wer hätte bei der Planung des Jahresthemas 2015/2016 der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften ahnen können, dass das Motto *Leibniz: Vision als Aufgabe* im Jubiläum 2016 (Leibniz' 370. Geburtstag und 300. Todestag) in dem von den Initiatoren ausgewählten Themenbereich „Der Blick in die Sterne“ durch den direkten Nachweis der Existenz von Gravitationswellen eine so spektakuläre Ausprägung finden würde. Besser konnte nicht demonstriert werden, wie wirksam Visionen für die Wissenschaft sein können. Die Vision, die zur Suche nach Gravitationswellen führte, hatte Albert Einstein, Ordentliches hauptamtliches Mitglied der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften (unserer Vorgängerakademie), vor genau einhundert Jahren. In seinem bei einer Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse der Akademie am 22. Juni 1916 eingereichten Manuskript, das am 29. Juni 1916 unter dem Titel „Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation“ in den Sitzungsberichten (Seite 688–696) veröffentlicht wurde, sagte er die Existenz dieser Wellen voraus. Einstein hielt den Effekt der Gravitationswellen allerdings für unmessbar klein. Damals kaum vorstellbare Fortschritte der Messtechnik haben seine Einschätzung widerlegt und diese Meisterleistung der Experimentalphysik ermöglicht, bei der relative Längenänderungen im Bereich von 10^{-21} gemessen werden konnten. Einsteins Prognosewerkzeug war die Mathematik. Er leitete die Existenz der Gravitationswellen durch „Linearisierung“ aus den Feldgleichungen seiner eigenen Allgemeinen Relativitätstheorie (einem System von nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen) ab und bediente sich dabei mathematischer Methoden, für die Leibniz rund 240 Jahre früher die Grundlagen gelegt hatte.

Einstein nahm das Thema in weiteren Arbeiten auf, u. a. in dem Artikel „Über Gravitationswellen“ (am 31. Januar 1918 vorgelegt und in den Sitzungsberichten der Gesamtsitzung der Preußischen Akademie der Wissenschaften vom 14. Februar 1918 veröffentlicht), in dem er zugab:

Da aber meine damalige Darstellung [es geht um die oben zitierte Arbeit] des Gegenstandes nicht genügend durchsichtig und außerdem durch einen bedauerlichen Rechenfehler verunstaltet ist, muß ich hier nochmals auf die Angelegenheit zurückkommen.

Das macht einen Giganten der Wissenschaft etwas menschlicher, schmälert aber nicht seine ungeheure Leistung.

Die direkte Detektion von Gravitationswellen markiert den Beginn einer neuen Ära der Astrophysik. Sie wird neue Einblicke in unser Universum erlauben. Zahllose Publikationen der letzten Zeit formulieren abenteuerlich klingende Visionen. Ein Beispiel sei erwähnt: Wird man das direkte Echo des Urknalls mittels Gravitationswellen hören können? Es wird u. a. darüber spekuliert, dass bereits 10^{-41} Sekunden nach dem Urknall Gravitationswellen abgesendet worden sein müssten, die man heute möglicherweise detektieren kann.

Das ist das Ende des Ausflugs zu astronomischen Visionen, kommen wir jetzt zur eigentlichen (ganz kurzen) Einleitung dieses Teils des Leibniz-Bandes. Und wieder beginne ich mit derselben Phrase:

Wer hätte gedacht, dass es die Gründung unserer Akademie ohne „die Sterne“ nicht gegeben hätte? Dies ist das Thema des Beitrags von Roland Wielen „Das Kalender-Edikt des Brandenburgischen Kurfürsten Friedrich III. vom 10. Mai 1700“, der u. a. beschreibt, wie Leibniz die Gründung der Akademie mit der Einrichtung einer Sternwarte verknüpfte und es schaffte, dass der Kurfürst ein Monopol zur Kalenderherstellung errichtete, das über 100 Jahre wesentlich zur Finanzierung der Akademie (sowie der Sternwarte und ihrer Astronomen) beitrug.

Klaus-Dieter Herbst beschreibt in seinem Artikel „Astronomische Forschung im 17. und frühen 18. Jahrhundert: Johannes Hevelius und Gottfried Kirch“ die bedeutenden wissenschaftlichen und wissenschaftsorganisatorischen Entwicklungen der Sternenkunde in der damaligen Zeit und stellt dabei das Wirken der beiden herausragenden Astronomen Johannes Hevelius und Gottfried Kirch exemplarisch in den Vordergrund. Gottfried Kirch wurde am 18. Mai 1700 als erster Astronom der (formell noch nicht gegründeten) Akademie bestellt und wurde dann am Gründungstag (11. Juli 1700) ihr erstes Mitglied. Leibniz wurde am 12. Juli zum Akademiepräsidenten ernannt.

Günter Hasinger nimmt in seinem Beitrag „Leibniz und die Planetenforschung“ die Entwicklung der Forschung auf diesem Gebiet in den letzten 350 Jahren in den Blick und konzentriert sich dabei insbesondere auf die methodische Entwicklung sowie einige spektakuläre Durchbrüche wie die Entdeckungen von Neptun, Pluto und Exoplaneten.

Matthias Steinmetz blickt in seinem Artikel „Die Vermessung des Universums“ noch weiter in Zeit und Raum und beschreibt, wie sich seit der Antike die Beobachtungs- und Vermessungsmethoden und daraus resultierend unsere Vorstellungen von „der Welt“ und ihrer Größe über die Jahrhunderte hinweg entwickelt haben.

Liebhaber des Rock/Pop der 1970er Jahre kennen die Zeile „... we are stardust ...“ aus dem vielfach gecoverten hymnischen Song *Woodstock* von Joni Mitchel. Die moderne Physik hat nachgewiesen, dass das nicht nur Liedermacherpoesie, sondern Realität ist. Wie der Blick in die Sterne in diesem Abschnitt des Leibniz-Festbandes zeigt, gilt dies im übertragenen Sinne auch ein wenig für unsere Akademie.

Astronomische Forschung im 17. und beginnenden 18. Jahrhundert: Johannes Hevelius und Gottfried Kirch

1 Die Forschungsbereiche¹

In der Mitte des 17. Jahrhunderts waren die Gesellschaften in Europa gewaltigen Veränderungen ausgesetzt. Das meint nicht nur die Auswirkungen des Dreißigjährigen Krieges mit der Neustrukturierung der politischen Grenzen der protestantischen und katholischen Länder, sondern auch die Neubestimmung der Rolle des Menschen im Komplex der irdischen und kosmischen Zusammenhänge, was schließlich zum säkularisierten Denken in den Wissenschaften und im letzten Drittel des Jahrhunderts zur Frühaufklärung führte. Die Astronomen mit ihren Beobachtungen seit dem Ausgang des 16. Jahrhunderts (z. B. die Beobachtung der Supernova von 1572 im Sternbild Kassiopeia) und besonders mit den spektakulären Entdeckungen seit der Einführung des Fernrohrs und den ersten teleskopischen Beobachtungen durch Galileo Galilei (1564–1642) und Simon Marius (1573–1624) hatten an dieser Entwicklung einen enormen Anteil. Führende Astronomen waren in der Mitte des 17. Jahrhunderts Ismaël Boulliau (1605–1694) in Paris, Giovanni Battista Riccioli (1598–1671) in Bologna, Christiaan Huygens (1629–1695) in Den Haag und Johannes Hevelius (1611–1687) in Danzig. Diese und andere Gelehrte waren durch ihre Korrespondenzen im europaweiten Netz der *res publica litteraria* miteinander verbunden. Über die Briefe und die in der Mitte des 17. Jahrhunderts entstandenen Gelehrtenjournale *Philosophical Transactions* (1665, London), *Journal des Sçavans* (1665, Paris) und *Acta Eruditorum* (1682, Leipzig) tauschten die Astronomen ihre Forschungsergebnisse aus.

In der Astronomie beinhaltet das Forschen nicht nur das Beobachten und Messen von Himmelserscheinungen (Sonne und ihre Flecken, Mond und seine Oberflächenformationen, Planeten und ihre Satelliten, Kometen (Abb. 1), Nebel, veränderliche Sterne, Stern- und Planetenörter), sondern auch das Theoretisieren und Berechnen (Planetenbewegung, Tafeln für Ephemeridenrechnung, Entstehung des Sonnensystems, Natur kosmischer Objekte, Wechselwirkung zwischen kosmischen Objekten) sowie das Vorausberechnen mit anschließender Überprüfung. In diesem letzten Bereich ging es um die Planeten- und Mondpositionen, Konjunktionen von Planeten, Finsternisse von Sonne (Abb. 2) und Mond, Bedeckungen von Sternen und Planeten durch den Mond und Verfinsterungen der Jupitersatelliten.

Zahlreiche Entdeckungen und Kenntnisse (vgl. Tab. 1 auf S. 167) gelangen den Astronomen nur mit dem neuen Hilfsmittel, dem Fernrohr. Herausragend in dieser Hinsicht waren die Fernrohre von Hevelius in der Mitte des 17. Jahrhunderts. Bedauernd war hingegen die instrumentelle Ausrüstung, die Kirch ab 1700 in Berlin an der Sternwarte der von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) als Präsident geführten Brandenburgischen Societät der Wissenschaften zur Verfügung stand. Anhand von Beispielen aus dem Wirken von Hevelius



Abbildung 1. Komet 1680 (Kirch), beobachtet auf der Vestnertorbastei in Nürnberg. Dieser Platz diente seit 1677 als Sternwarte von Georg Christoph Eimmart (1638–1705), der Fernrohre und Messinstrumente (Quadrant, Sextant) aufstellte. Der Komet war der erste, den Gottfried Kirch (1639–1710) mit Hilfe eines Fernrohrs entdeckte. Er entwickelte sich zu einer der spektakulärsten Kometenerscheinungen mit einem über den halben Himmel reichenden Schweif.

und Kirch werden im folgenden Verlauf verschiedene Facetten astronomischen Forschens um 1700 dargestellt.

2 *Der Bierbrauer und Astronom Johannes Hevelius*

Der am 28. Januar 1611 in Danzig als zweites Kind (von zehn) des Bierbrauers Abraham Hevelke (1576–1649) und dessen zweiter Ehefrau Cordula Hecker (1592–1653) geborene Johannes Hevelius erhielt seine Ausbildung anfangs im Elternhaus, später am Danziger Akademischen Gymnasium, an dem der Astronom, Mathematiker und Kalendermacher Peter Crüger (1580–1639) lehrte, und zwischendurch auch an der Universität Königsberg. 1630 und 1631 studierte Hevelius in Leiden Rechtswissenschaft, um sich damit auf den Kaufmannsberuf und auf eine Tätigkeit in öffentlichen Ämtern der Stadt Danzig vorzubereiten, und angewandte Mathematik (Optik,



Abbildung 2. Kupferstich mit den von Abdias Trew (1597–1669) für Nürnberg vorausberechneten Zeiten und Bedeckungsgraden der Sonnenfinsternis vom 2. (alten Stils) bzw. 12. (neuen Stils) August 1654 nach sechs astronomischen Tafelwerken („Ex Tabvlis“) von Philipp Lansberg (1561–1632) in Middelburg, Maria Cunitia (1604–1664) in Pitschen bei Brieg, Christian Severin Longomontan (1562–1647) in Kopenhagen, Johannes Kepler (1571–1630) in Linz, Lorenz Eichstädt (1596–1660) in Danzig und Andrea Argoli (1570–1657) in Padua.

Tabelle 1. Meilensteine der Astronomie von Johannes Kepler (1609) bis James Bradley (1728)

Jahr	Astronom	Ort	Leistung für die Astronomie
1609/19	Kepler	Graz/Prag	Veröffentlichung der Gesetze der Planetenbewegung
1610	Galilei, Marius	Padua, Ansbach	Erblicken von Venusphasen, Sonnenflecken, Mondgebirgen und Jupitermonden mit einem Fernrohr
1612	Marius	Ansbach	Beschreibung des Andromedanebels
1618	Cysat	Luzern	Beschreibung des Orionnebels
1627	Kepler	Linz/Prag	Veröffentlichung der Rudolphinischen Tafeln
1630	Scheiner	Ingolstadt	Aufstellung einer Systematik der Sonnenflecken
1639/40	Horrocks	Lancashire	erste Beobachtung eines Venustransits und Präzisionsbestimmung der Sonnenparallaxe
1644	Descartes	Leiden	Veröffentlichung der Wirbeltheorie zur Entstehung des Sonnensystems
1645	Langren	Brüssel	Veröffentlichung einer Mondkarte
1647	Hevelius	Danzig	Veröffentlichung einer Topographie des Mondes
1650	Riccioli	Bologna	Erkennen von Mizar als Doppelstern
1654	Hodierna	Sizilien	Beschreibung mehrerer Nebel (M 6, 36, 37, 38, 41, 47)

Jahr	Astronom	Ort	Leistung für die Astronomie
1655	Huygens	Den Haag/Paris	Entdeckung des ersten Saturnmondes und des Saturnringes
1661	Childrey	Kent	Beschreibung des Zodiakallichtes
1664	Hooke	London	Erkennen der Rotation von Jupiter
1665	Ihle	Leipzig	Entdeckung eines Nebels (M 22)
1665	Cassini	Bologna/Paris	Bestimmung der Rotationsdauer bei Jupiter und Mars
1665	Petit	Lagny sur Marne	Veröffentlichung über die Natur der Kometen
1669	Montanari	Bologna	Erkennen von Algol als veränderlicher Stern
1671/72	Richer	Cayenne	Bestimmung der Mars- und Sonnenparallaxe
1675	Cassini	Paris	Entdeckung der Teilung der Saturnringe
1676	Römer	Paris/Kopenhagen	Feststellung der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit
1679	Halley	St. Helena/Oxford	Veröffentlichung des ersten Sternverzeichnisses vom Südhimmel
1680	Kirch	Coburg	erste teleskopische Entdeckung eines Kometen
1680	Flamsteed	Greenwich	Entdeckung eines Nebels (M 8)
1681	Kirch	Leipzig	Entdeckung eines Nebels (M 11)
1681	Dörffel	Plauen/Weida	Beschreibung der Bahn eines Kometen als Parabel
1686	Kirch	Leipzig	Erkennen von chi Cygni als veränderlicher Stern
1687	Newton	Cambridge	Veröffentlichung der Gravitationstheorie
1693	Halley	Islington/London	Entdeckung der Akzeleration des Mondes
1705	Halley	Oxford	Bestimmung der elliptischen Bahnform des Kometen von 1682
1712/25	Flamsteed	Greenwich	Sternkatalog mit rund 2700 Sternörtern
1718	Halley	Oxford	Eigenbewegung der ‚Fixsterne‘
1728	Bradley	Greenwich	Aberration des Sternlichts

Mechanik). Damit studierte Hevelius in einer Stadt, in der frühzeitig unter den Gelehrten ein offener Umgang mit kosmischen Fragen bis hin zur Frage nach der Gültigkeit des heliozentrischen Weltsystems gepflegt wurde. Von Leiden aus reiste er nach England, Frankreich und Italien. Auf die während dieser ‚Kavalierstour‘ geschlossenen Bekanntschaften gehen die frühen Briefwechsel mit den Jesuiten Pierre Gassendi (1592–1655) in Paris und Athanasius Kircher (1602–1680) in Rom sowie dem bereits erwähnten Ismaël Boulliau zurück. 1634 nach Danzig zurückgekehrt, widmete sich Hevelius der Arbeit zunächst in der väterlichen und ab 1636 in der eigenen Brauerei. Von 1641 an kam er auch den Verpflichtungen eines Ratsherrn und ab 1651 denen eines Konsuls (eines höherrangigen Ratsherrn) der Alten Stadt Danzig (daneben gab es noch die neu angelegte „Rechte Stadt“) nach, was ihm anfangs jährlich 500 und später 750 Taler einbrachte.

Im Alter von 24 Jahren heiratete Hevelius am 21. März 1635 die zwei Jahre jüngere Brauerstochter Catharina Rebeschke (1613–1662). Nachdem Catharina, die keine Kinder geboren

hatte, am 10. März 1662 gestorben war, nahm Hevelius am 3. Februar 1663 die erst 16jährige Kaufmannstochter Elisabeth Koopmann (1647–1693) zur Frau. Aus dieser Ehe gingen die Kinder Johannes Adeodatus (1664–1665), Catharina Elisabeth (1666–1745), Juliane Renate (1668–1707) und Flora Constantia (1672–1734) hervor.

Mit systematischen astronomischen Studien begann Hevelius um 1640. Daraus resultierte dessen erste wissenschaftliche Publikation, die *Selenographia* (1647), in der er zahlreiche, selbst in Kupfer gestochene Mondkarten für alle Phasen veröffentlichte (Abb. 3). Mit diesem Buch, das er an Gelehrte und Fürsten in ganz Europa verschickte, begründete er sein hohes Ansehen in der Fachwelt. Hevelius gilt neben Michael Florent van Langren (1600–1675) in Brüssel als Begründer der wissenschaftlichen Topographie des Mondes (Selenographie). Die Karten enthalten sehr genau gezeichnete Einzelheiten der Mondoberfläche und wurden deshalb viele Jahre von den Astronomen als Grundlage für die Protokollierung von Beobachtungen des Verlaufs einer Mondfinsternis, einer Sternbedeckung durch den Mond und eines Vorbeigangs des Mondes an einem Stern oder Planeten verwendet (Abb. 4).

Die von Hevelius aufgebaute private Sternwarte war mit selbstgebaute großen Instrumenten bestückt. Sie zählte zu den größten Sternwarten Europas. Hevelius beschrieb sie und die Instrumente in dem ersten Teil des Buches *Machina Coelestis* (1673). Als Instrumentenbauer war Hevelius weit über die Grenzen seiner Heimatstadt hinaus bekannt. Seine Winkelmessinstrumente (Quadrant, Sextant, Oktant) waren von solider Festigkeit, Größe und sehr hoher Genauigkeit, und seine Fernrohre besaßen Brennweiten bis zu 60 Fuß (ca. 17 m),² die an großen hölzernen Konstruktionen hängend nur mit Seilen und Winden bedient werden konnten.

Dass die Fernrohre so große Ausmaße annahmen, lag an der noch geringen Güte der Linsen. Der Farbfehler (chromatische Aberration) verursachte einen farbigen Saum und hellen Schleier. Um dessen Wirkung wenigstens im zentralen Teil des Gesichtsfeldes zu umgehen, war ein relativ großes Objektiv nötig. Ein großes Objektiv war auch erforderlich, um die lichtsammelnde Eigenschaft für lichtschwache Objekte (Nebel) nutzen zu können. Bei einem großen Objektiv erhöht sich aber auch der Öffnungsfehler (sphärische Aberration), durch den ein Stern nicht mehr ideal punktförmig wiedergegeben wird. Die Lösung dieses Problems wurde durch eine enorme Vergrößerung der Brennweite angestrebt, durch die das Öffnungsverhältnis (Durchmesser des Objektivs geteilt durch die Brennweite des Objektivs) wieder gering und damit der Öffnungsfehler klein gehalten werden konnte. Eine lange Brennweite des nichtachromatischen Objektivs ermöglichte zudem ein großes Gesichtsfeld von mehreren Graden, was wiederum günstig war für die Orientierung an den Sternen, Beobachtung von Kometen, von Planeten, des Mondes, das Auffinden von „nebligen“ Sternen (Messier-Objekten) und Beobachtung von Meridiandurchgängen während mehrerer Minuten bis zu einer halben Stunde.

3 Die Trias Beobachtung–Kommunikation–Publikation

Hevelius publizierte seine Beobachtungs- und Messresultate in Flugschriften, in Monographien und schließlich auch in den neuen gelehrten Journalen. Bevor sie in eine Zeitschrift gelangen konnten, mussten sie in einem Brief an die Herausgeber geschickt werden. Ein markantes Beispiel dafür ist der Brief, den Hevelius an den Mathematikprofessor Christoph Pfautz (1645–1711), der



Abbildung 3. Zeichnung der Mondoberfläche (Phase vom 23. Juli 1644) in Johannes Hevelius' *Selenographia* (zwischen S. 380/381)

dem Herausgeberkreis der Gelehrtenzeitschrift *Acta Eruditorum* angehörte, zur Veröffentlichung schickte. In dem deutschen Text, der dem lateinischen Briefkonzept vom 30. Mai/9. Juni 1682 beiliegt, heißt es:

[...] schicke ich ein Phaenomenum aereum von mir newlich den 10 April. vesp. mit sonnen vntergang alhie observirt da die sonne bey herrlichen klaren himmel ein großen langen weisen vnd

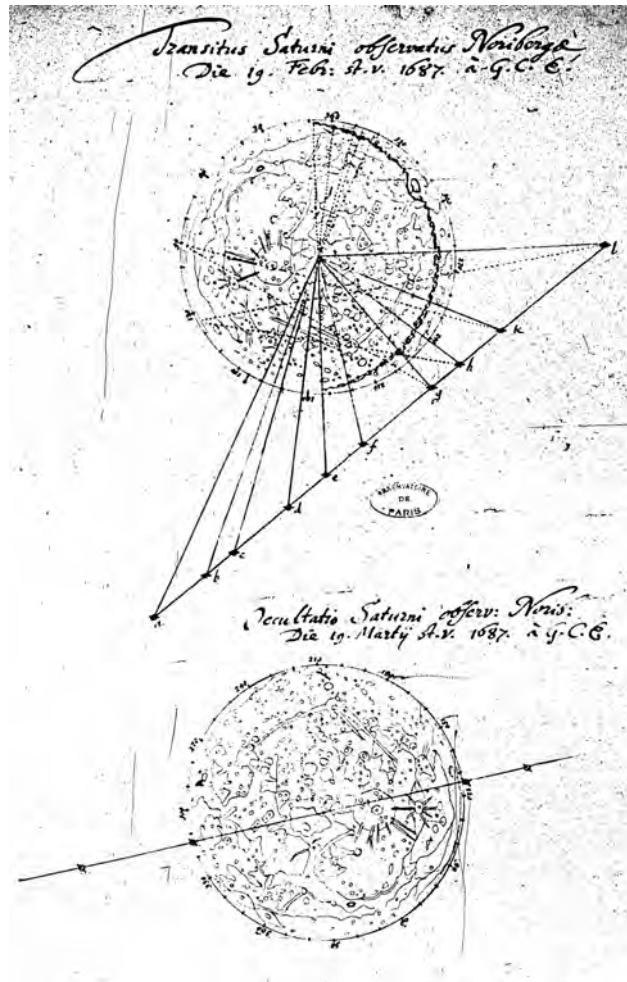


Abbildung 4. Von Georg Christoph Eimmart angefertigte Zeichnungen des Vorübergangs des Mondes am Saturn am 19. Februar (alten Stils) 1687 und der Bedeckung von Saturn durch den Mond am 19. März (alten Stils) 1687.

lichten strall aufwertz perpendiculate von sich weist als wen eines Cometen schwantz wer. Auf der spitzen dieser lichten strall stand eine neben sonne mit farben abgeschattet v. zwar in einem stück eines vmbgekehrten regenbogens, deßen farben man zimlich gutt erkennen kuntt. Ich halte dafor hette man es ehe sehen können wie die sonne noch etzliche 20 grad vber dem Horizont genau gestanden hette man mehr nebensonnen auch wol mit schwäntzen von beyden seiten auch noch regenbogen gesehen wie es bey den Parelijs allezeit zugeschehen; also das dieses Phaenomenum nicht anders als ein stück von den Parelijs gewesen; dergleichen doch raro vnd nicht offers zusehen [...]³

Eine lateinische Version davon wurde unter der Überschrift „Excerptum Ex Literis Illustris Hevelii die 9 Junii, hoc anno, Gedani datis, de phaenomeno quodam aëreo observato“ in der

Zeitschrift *Acta Eruditorum* publiziert (Hevelius 1682). Demnach hatte der Astronom Hevelius am 10. April 1682 abends um 6.40 Uhr in Danzig beim Sonnenuntergang (Primärsonne am Horizont) eine senkrechte Lichtsäule mit einer Nebensonne auf der Spitze sowie rechts und links davon einen Circumzenitalbogen beobachtet. In der Frühen Neuzeit galten solche Erscheinungen als Wunderzeichen Gottes. Die Gelehrten im 17. Jahrhundert begannen, diese Phänomene naturwissenschaftlich zu deuten und zu erklären. Heute wissen wir, dass die Ursache für dieses Phänomen optische Vorgänge in der Atmosphäre sind: Lichtbrechung an sechseckigen Eiskristallen und Reflexion an dünnen Eisplättchen.

Mit dem geschilderten Fall sind drei wesentliche Gesichtspunkte der astronomischen Forschung im 17. Jahrhundert angerissen. Es mussten Beobachtungen erfolgen, die in Briefen beschrieben wurden und durch Weitergabe der Briefe an einen Drucker (zur Herstellung einer Flugschrift) oder an einen Zeitschriftenherausgeber veröffentlicht werden konnten – Beobachtung, Kommunikation und Publikation bildeten eine Einheit. Will man das Zustandekommen des Kenntnisfortschritts verstehen, dann muss man sich den Personen und den Briefwechseln zuwenden. Das Studieren der damals gedruckten dicken Bücher und dünnen akademischen Schriften (Disputationen) reicht nicht aus, um ein vollständiges Bild des Forschens zu erlangen.

4 *Objektive Forschung und individuelle Forscher*

Beim Studium der gelehrten Korrespondenz kommen dann nicht nur astronomische Einzelheiten zum Vorschein, sondern auch Stärken und Schwächen der Astronomen bis hin zu persönlichen Eitelkeiten. Das kann an einem weiteren Brief von Hevelius illustriert werden. Dieser schrieb am 30. Mai/9. Juni 1682 nicht nur an Pfautz, sondern auch an den damals in Leipzig lebenden Astronomen Gottfried Kirch. Der Brief, der von Hevelius eigenhändig („*manu propria*“) geschrieben wurde, wird hier vollständig wiedergegeben, um einen Eindruck von der Art der gelehrten (astronomischen) Kommunikation zu vermitteln.

VorAchtbahrer Hochgelahrter insonders Gehrter Hr. Kirch.

Das andere iar seiner Ephemeridum durch Hr. Hallerfort ist mir wol geworden; bedancke mich dafür auf das freündlichste wünsche wieder etwas zu haben das ich solches mit gleichem abgeben könnte. Das tractetlein von Hr. Stanislai Niewicksky ist mir wol bekant, alles aber das ienige als was er observiret kan ich nicht mit andern observationem conciliiren: daß der Comet endlich in der Morgen röthe verschwunden, das ist wol richtig weil er vnter die sonnen stralen kam; das ich aber mit ihm wegens 2 Cometen solte eines geweßen sein, wird er wol nicht können darthun, das der Comet in Osthindien eben da seÿ gesehen worden da wir ihn observiret ist wol gar kein Zweiffel, auch muß der schwantz beÿ ihnen allezeit von der Sonnen seyn abgewandt gewesen. Schließlichen aus seinen Ephemeridibus sehe ich das dafür wil gehalten sein als wan eine newe Nebulosa Fixa in Ganymede seu Antinou erst Ao 1681 die 1 Sept. sey per Telescopium entdeckt worden, aber diesen wie auch viel andere newe alda ante dextrum pedem Antinoi habe ich schon lang mit bloßen gesicht gesehen vnd observiret, nemlich Ao 1661 den 27 Augusti wie ex II parte Mach. Coelesti zusehen auch breiter von dem Hr. Christ Pfautz wird vernehmen können, womit Göttlichem schutz empffohlen. In Dantzig Ao 1682, den 9 Junij St. n. Eylende.

Des Hr. dienstwilliger gutter freündt Joh. Hewelcke. m[anu]p[ro]p[ria].⁴

In der zweiten Briefhälfte ging Hevelius auf die Entdeckung eines nebligen Objekts (M 11, Wildentenhaufen) durch Kirch ein, der darüber unter anderem in seinen – von Hevelius erwähnten – Ephemeriden für 1682 berichtet hatte (Abb. 5a, 5b; Kirch 1682: Appendix, III). Er behauptete, dass er das von Kirch gesehene Objekt bereits am 27. August 1661 beobachtet habe. Zur Bekräftigung dessen legte der Danziger Astronom dem Brief eine Zeichnung (einen „Abriß“) mit

Septem Stellae ante pedem dextrum Antinoi Globis hactenus usitatis nondum adscriptae; sed primum Ao 1661, die 27 August. observatae, et in Catalogum relatae à Joh. Hevelio.

[Sieben Sterne vor dem rechten Fuß des Antinous', die bis dahin auf den gebräuchlichen Globen noch nicht aufgezeichnet sind; sondern zuerst im Jahr 1661, am 27. August, von Johannes Hevelius beobachtet und in den Katalog eingetragen wurden.]

bei. Hier kommt der eitle Charakter von Hevelius zum Ausdruck, der nicht nur einmal eine Entdeckung oder Leistung dem anderen Astronomen neidete und für sich beanspruchte. Dass in diesem Fall Kirch tatsächlich etwas Neues entdeckt hatte, erläuterte dieser dem Astronomen in Danzig in einem weiteren Brief vom 6./16. Juli 1682. Die entsprechende Passage lautet:

Hierauff zeigte mir Herr Professor Pfautz, unser itziger Magnificus Rector Academiae allhier, den Abriß, welchen S[ein]e Hoch Ed[le] Herr[lichkeit] deswegen an Ihn geschicket. Nachdem ich aber solchen betrachtet, deuchtet mich, als ob wir nicht einerley Stern meynen. Denn die Nebulosa die ich meyne, stehet nahe am nördlichen Fuße Ganymedis, etwan 8° [im Steinbock] 16° Sept[emtrionalis], zwischen denen Sternen, welche Se. Hoch Ed. Herr. mit d und c bemercket, ein wenig niedriger, und näher c als d. Sie bleibt stets als ein sehr kleiner Comet ohne Schwantz, gantz neblicht, ob ich auch gleich einen Tubum von 13 Schuhen nehme, welcher 80 mahl im Diametro vergrößert, und ist ein kleines Sternlein dabey. So viel aus Sr. Hoch Ed. Herr. Abriße ich vernehme, mag die Stella, so Sie mit i bezeichnet etwan im 3° oder 4° [im Steinbock] stehen, 9° Sept[emtrionalis] ich kann sie auch mit bloßem Gesicht gar gut sehen, und finde per tubum, daß es 5 Sternlein seyn, [...] Die Nebulosa aber, die ich meine, kan von mir mit freym Gesicht nicht erblicket werden.⁵

Auf diese Entgegnung Kirchs reagierte Hevelius nicht mehr und er ließ anschließend mehrere Briefe von Kirch unbeantwortet. Dass sich solch ein Charakterzug auch nachteilig für die astronomische Forschung auswirken konnte, belegt die Reaktion von Hevelius auf einen Vorgang im Jahr 1684. Nachdem in der Leipziger Zeitschrift *Acta Eruditorum* zu Recht Langren als der erste Astronom bezeichnet wurde, der die Mondoberfläche ausführlich öffentlich beschrieben habe (1645), und nicht Hevelius (1647), brach Hevelius aus gekränkter Eitelkeit seine Beziehung zu den Leipziger Gelehrten ab und veröffentlichte fortan nichts mehr in deren Journal.⁶

5 Der Schulmeister, Kalendermacher und Astronom Gottfried Kirch

Mit Gottfried Kirch wurde bereits ein Gelehrter angeführt, der nach dem Tod des am 28. Januar 1687 verstorbenen Hevelius plötzlich zum bedeutendsten Astronomen im deutschsprachigen Kulturgebiet avancierte. Kirch wurde mitten im Dreißigjährigen Krieg am 18. Dezember 1639 in Guben geboren. Dort besuchte er das Gymnasium und zog danach ins Vogtland, wo er ab ca. 1665 als Schulmeister in Langgrün (bei Greiz) und Neundorf (bei Lobenstein) nachweisbar ist. 1673 – also bereits in einem Alter von 33 Jahren – hörte er die Vorlesungen des damals sehr

3. 10. 30	13.25	Altitudo Veneris per nubes.	2. 46. 32
3. 19	0	Deprehendi Lunam non tantum cœpisse obscurari; sed & defectum ejusdem circiter tres digitos fuisse, quantum conjecturâ assequi licuit. Nam accuratè phasin illam notare non potuimus, ob- subsequentes illicò obnubilationes.	
5. 33.	0	Centrum Solis in Horizonte, seu ortus visus Solis, ortus verus hâc die, per calculum.	5. 9. 16 5. 12. 48

Paulò ante ortum Solis Luna per nubes conspiciebatur, cujus pars lucida (crassâ tamen æstimatione) $\frac{1}{2}$ Diametri Lunarî erat. Sole oriente censebatur Luna adhuc ultra gradum supra Horizontem elevata.

Deinde ante occasum Lunæ obscurissimâ nubes rursus totum Lunæ adspæctum nobis planè eripuerunt, ut nihil amplius de hac notabili Eclipsi observatum fuerit, præter ea leviuscula commemorata. Quæ tamen ad id sufficiunt, quòd Eclipsis hæc seriùs reverà inciderit, quàm calculus Rudolphinus ostendit.

III. Stellæ nebulosa propè pedem borealem Ganymedis observata,
Lipsiæ, die 1. Sept. Anno 1681.

Et si veteres Astronomi Stellas nebulosas aliquot in cœlo numerârunt; tubus tamen opticus, locò unius dictæ stellæ nebulosæ, congeriem lucidarum minutarum nobis ostendit. Sed verè nebulosæ tres ab Astrophilis animadversæ sunt: prima in Cingulo Andromedæ, à Simone Mariò primò annotata: secunda in ense Orionis, à Christiano Hugenio Anno 1656. per tubum inventa; & tertia in Sagittario, quàm Dn. Joh. Abrah. 3^o Sept. Anno 1665. apprehendit; postea tamen experti sumus eam Dn. Joh. Hevelio dudum fuisse annotatam.

Anno autem 1681. die 1. Sept. vespèri observavi aliam stellam nebulosam, à nemine hucusque, quòd sciam, animadversam, prope pedem borealem Ganymedis. Forma ejus non absimilis erat Cometæ, quæ Anno 1680, die 4. Novembr. manè per telescopium in 0. gradu mp . inveni: quare primò intuitu incertus eram, an phænomenon istud cometa sit, vel stella nebulosa. Quia verò sequentibus diebus locum & formam non mutavit, facile dijudicandum erat, non Cometam, sed certissimè stellam nebulosam esse.

Num verò stella dicta semper, an per vices, apparitura sit, sicuti circa nebulosam Andromedæ contingere solet, experientia docebit.

Nudis oculis Stella hæc conspici non potest: Per tubum opticum autem tredecim pedalem eam sic observavimus, ut in adjuncto schemate ad A patet. Situs ejus inter stellas fixas per tubum 4. pedum talis ferè fuit, qualis ex figura B. apparet. Stellæ g h l in Bayeri Uranometriâ in pede sinistro Ganymedis (qui in Tabulis Rudolphinis dexter vocatur) iisdem literis annotatæ sunt. Stellæ a b c reperiuntur quidem in modò citatâ Uranometriâ, circa pedem dictum in viâ lacteâ, sed non literis designatis. Hæ sex stellæ nudis oculis optime conspiciuntur, reliquæ autem quatuor stellulæ d f e i ut & nebulosa, literâ N. notata, & obscura k quæ illi est proxima, non nisi per tubum videntur.

IV. Oc.

Abbildung 5a. Doppelseite links aus Gottfried Kirchs Ephemeriden für 1682 mit der Bekanntgabe seiner Entdeckung eines nebligen Sterns („Stella nebulosa“)

berühmten Mathematikprofessors Erhard Weigel (1625–1699) an der Universität in Jena. Von diesem wurde er an den in ganz Europa bekannten Danziger Astronomen Hevelius als Gehilfe bei Beobachtungen und Berechnungen vermittelt. Die astronomische Bildungsreise führte Kirch

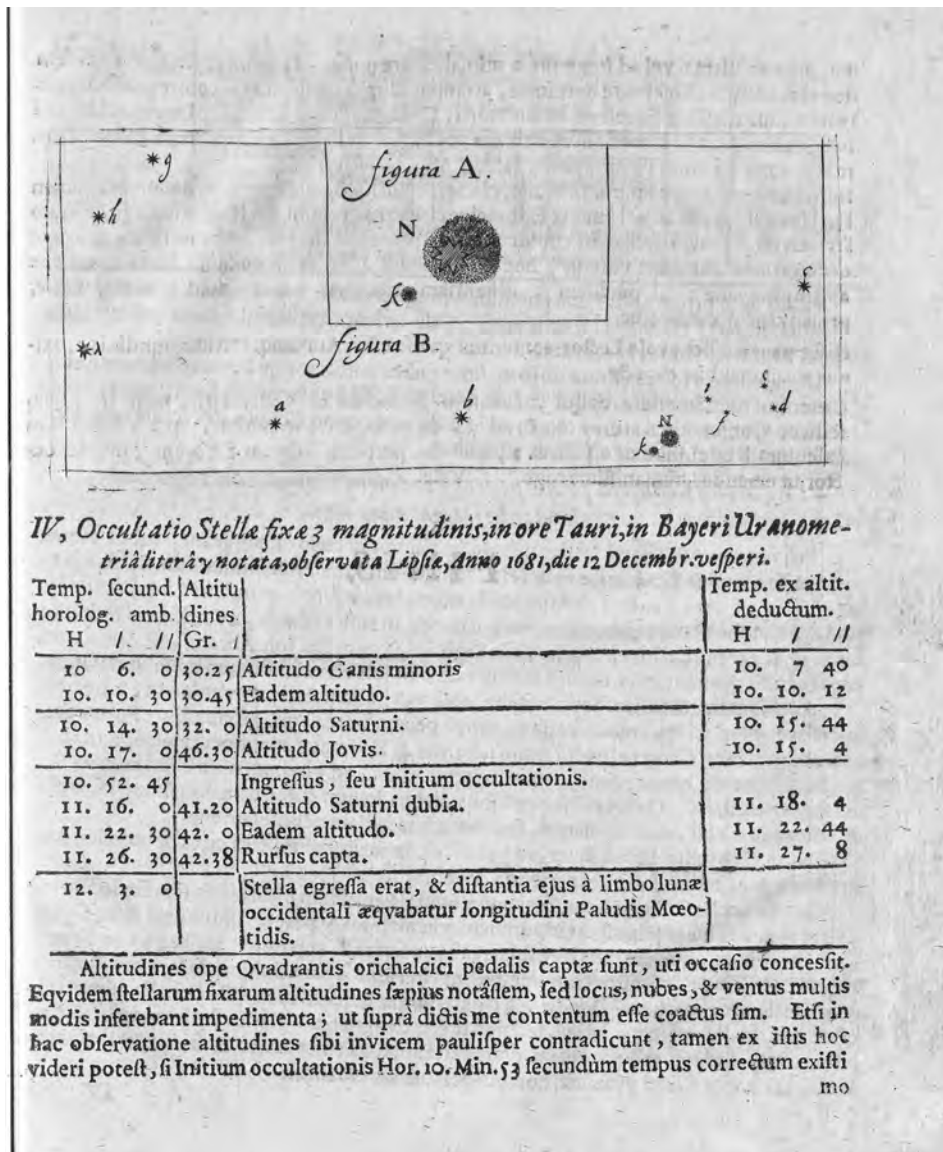


Abbildung 5b. Doppelseite rechts aus Gottfried Kirchs Ephemeriden für 1682 mit der Bekanntgabe seiner Entdeckung eines nebligen Sterns („Stella nebulosa“)

schließlich von Danzig weiter nach Königsberg. Von dort schrieb er im April 1675 an seine „hertzlieben ehelichen Haußfrauen“ Maria, mit der er seit 1667 verheiratet war und die mit den beiden Söhnen Gottlieb (6 Jahre) und Ehrenfried (1 Jahr) zuhause in Lobenstein auf ihn wartete:

Nehmet euch und die Kinder fein in acht, und betet täglich vor unser aller Gesundheit, wie ich auch thue. Mir wird keine größere Freude wieder fahren können, als wann ich euch alle drey gesund wieder finde. Kümmeret euch nicht um die zeitliche Nahrung, läßt uns nur Gott gesund, so wird er uns unser Stück Brot auch wol beschehren. Leidet ihr Mangel, so thut ihr mir keinen dienst, hebet auff wo ihr außen stehen habet, und gebrauchets, ihr müßet nicht allzu kärglich leben, wer weiß wie es noch in der Welt hergehen wird, und ob es unsere Kinder genießen möchten oder nicht. [...] Ich studire zu Königsberg. Ich hatte bey Herrn Hevelchen gar zu viel zu thun ich hätte meine Kalender bey ihm nicht machen können. Über ein Jahr (so Gott will) werde ich gewiß heim kommen.⁷

Es sollte kein ganzes Jahr mehr dauern, bis er wieder in Lobenstein eintraf. Vermutlich schon im Sommer oder Herbst 1675 kehrte er heim. Im Jahre 1676 folgte der Umzug in die Universitäts- und Messestadt Leipzig, wo er bis Oktober 1692 lebte und als Privatgelehrter erfolgreich wirkte, unter anderem als Autor astronomischer Mitteilungen in der Gelehrtenzeitschrift *Acta Eruditorum*. Seine Familie war weiter angewachsen – zu Gottlieb (geb. 1669) und Ehrenfried (1673) kamen die Kinder Guthmann (1676), Heilmann (1678?) und Theodora (1683) hinzu, Friedemann (1671) und ein weiterer Sohn (1672) waren kurz nach der Geburt gestorben. Nachdem die Frau am 20./30. Juni 1690 gestorben war, heiratete Kirch am 8./18. Mai 1692 die Pfarrerstochter Maria Margaretha Winckelmann (1670–1720). Sie gebar sechs Kinder: Marie (1693), Christfried (1694), Christine (1697), Sophie (1698), Dorothea Johanna (1701) und Margaretha (1703).

1673 hatte Kirch seine Tätigkeit als Schulmeister quittiert. Von da ab bestritt er seinen Lebensunterhalt allein von den Einnahmen für die großen Schreibkalender, die er seit Mitte der 1660er Jahre verfasste. Der erste gedruckte Kalender erschien für das Jahr 1667 unter dem Titel *Jahr=Buch* und gehört zu Kirchs bekanntester Kalenderreihe, die später unter dem Titel *Christen=Juden=und Türcken=Kalender* firmierte.⁸ Sie erschien noch über Kirchs Tod (25. Juli 1710) hinaus bis zum Ende des 18. Jahrhunderts (letztes bekanntes Exemplar für 1788). Kirch verfasste zeitweise bis zu 14 verschiedene Schreibkalender pro Jahrgang,⁹ die er in verschiedenen Orten des Alten Reiches drucken ließ, zum Beispiel in Erfurt, Altenburg, Leipzig, Nürnberg, Breslau, Brieg, Danzig, Königsberg, Stargard. Das Geld, das er dafür von den Verlegern bekam (bis zu 50 Reichstaler pro Kalenderreihe und Jahr), reichte aus, um gut leben und sich sowohl in Lobenstein als auch später in Guben ein Haus kaufen zu können. Bedenkt man, dass die Auflagenhöhe einer jeden Kalenderreihe bei 2000 bis 5000 Stück lag, dann erreichte Kirch, der seine Kalender auch unter Pseudonymen veröffentlichte und etliche Reihen bereits verstorbener Kalenderautoren fortführte,¹⁰ eine enorme Breitenwirkung. Lange, bevor Kirch durch die Entdeckung des großen Kometen von 1680 in der astronomischen Fachwelt Berühmtheit erlangte (die Gelehrten Edmond Halley (1656–1742) und Isaac Newton (1643–1727) zum Beispiel baten um die genauen Beobachtungsdaten), war Kirch den Menschen in „Teutschland“ durch die Kalender und die darin dargebotenen astronomischen Informationen und – das gehörte im janusköpfigen 17. Jahrhundert zur Lebenspraxis dazu – astrologischen Vorhersagen bekannt, wenngleich diese von Kirch mit gehöriger Distanz vorgetragen wurden.

War das Kalendermachen die für den Lebensunterhalt notwendige Pflicht, so war das Beobachten des nächtlichen Sternhimmels die große Leidenschaft von Kirch, die von seiner zweiten Frau Maria Margaretha geteilt wurde. Es nimmt somit nicht Wunder, dass mehrere bedeutsame

Entdeckungen am Himmel auf das Konto von Gottfried Kirch gehen: 1680 das erstmalige Entdecken eines Kometen mittels Fernrohr, 1681 und 1702 sah er als erster die Sternhaufen M 11 und M 5, 1686 bemerkte er die Veränderlichkeit eines Sterns im Sternbild Schwan (chi Cygni). Kirch erfand ein Schraubenmikrometer für astronomische Präzisionsmessungen, z. B. von Planetenabständen, und baute selbst Fernrohre, wobei er sich das Glas für die Optik auch aus England schicken ließ. Seine astronomischen Veröffentlichungen, insbesondere die *Himmels-Zeitung* (1681) und die *Ephemeriden* (für 1681 bis 1692) wurden international beachtet.

Brieflichen Kontakt hielt Kirch nicht nur mit Hevelius in Danzig, sondern mit zahlreichen anderen Astronomen in vielen Orten Europas, z. B. mit John Flamsteed (1646–1719) in Greenwich, Adam Adamandus Kochanski (1631–1700) in Warschau und Olaus Römer (1644–1710) in Kopenhagen. Kirch kann als länderübergreifender Knotenpunkt für die Informationsflüsse zwischen den deutschen Astronomen gewürdigt werden. Auch deshalb – neben seiner Bekanntheit als ein auch von Gelehrten geschätzter Kalendermacher – wurde er 1700 als erstes Mitglied der neuen Brandenburgischen Societät der Wissenschaften zu Berlin und als deren Königlich Astronom berufen. Das war eine späte Anerkennung seiner Verdienste um die astronomische Forschung – Kirch war inzwischen 60 Jahre alt. Im Sommer 1700 erfolgte von Guben aus der Umzug der Familie nach Berlin. Nach Guben hatte sich Kirch im Oktober 1692 zurückgezogen, weil er und sein Sohn Gottlieb als radikale Pietisten um 1690 in Leipzig in einen erbitterten Streit zwischen orthodoxen Theologen und den Pietisten geraten waren. Kirch fürchtete dabei um das körperliche Wohl seiner Familie und zog deshalb in seine Geburtsstadt.

6 Kalender als Ersatz für ein fehlendes astronomisches Fachjournal

Den vielfältigen brieflichen Kontakten verdankte es Kirch, dass er zahlreiche Mitteilungen über astronomische Beobachtungen erhielt. Damit reagierten die Briefpartner auf Kirchs Aufforderungen in seinen Kalendern, die ‚Liebhaber‘ der Astronomie mögen die von ihm in den Kalendern angezeigten Himmelsereignisse fleißig beobachten und die jeweiligen Beschreibungen des Gesehenen ihm zuschicken. Dass er entsprechende Nachrichten erhalten hat, deutete er mehrfach in seinen Kalendern an, z. B. 1677: „Von unterschiedenen anderen Orten habe ich gleiche Nachricht“ (es geht um eine Merkurpassage durch die Sonnenscheibe; Kirch (1677: zweiter Teil, B1b)), oder 1687:

Die erste ist an vielen Orten gut gesehen und fleissig observiret worden/ wie mir denn schon unterschiedene Observationes zugeschickt seyn. [Es geht um eine Jupiterbedeckung durch den Mond im Jahr 1686.] (Ptolomaein 1687: Kalendarium, C3a)

In besonderen Fällen veröffentlichte er das ihm zugeschickte Material wortgetreu und mit Nennung des Absenders. Prägnantestes Beispiel hierfür liefert ein Kalender für 1692, in dem seitenweise Auszüge aus Briefen des Mathematikers Kochanski in Warschau, des Kaufmanns Johann Philipp Wurzelbaur (1651–1725) und des Bierbrauers und Ratsmitgliedes Sebald Braun (1644–1708) in Nürnberg sowie des Bauern Christoph Arnold (1650–1695) in Sommerfeld bei Leipzig mit ihren Beobachtungen der Merkurpassage durch die Sonnenscheibe vom 31. 10./10. 11. 1690 abgedruckt wurden.¹¹ Ursprünglich waren diese Mitteilungen für die *Acta Eruditorum* vorgesehen, konnten

dort aber aufgrund von Hindernissen erst 1696 in einem Supplementband erscheinen (Pfautz 1696). Die Veröffentlichung in seinem Kalender begründete Kirch damit, dass er vergeblich gehofft hatte,

es würden solche merckwürdige Observationes denen Actis Eruditorum, welche Monatlich in Leipzig heraus kommen/ einverleibet werden: wie es denn auch noch künftigt geschehen soll/ und doch gleichwol unterdessen viel Fragens deßwegen ist: Als will ich hoffen/ die Herren Observatores werden mir vergönnen/ solche Observationes diesem meinem Kalender beyzufügen/ und der Welt bekandt zu machen. (Kirch 1692: zweiter Teil, Gia)

Dieses Beispiel von Kirch führt exemplarisch vor Augen, dass den großen Schreibkalendern in der Frühen Neuzeit nicht nur die Funktionen der Handlungsorientierung, der Wissensvermittlung und der Unterhaltung zugeordnet werden können. Ausgewählten Kalenderreihen kam es ferner zu, ein Podium für gelehrte Kommunikation unter den Astronomen bzw. den ‚Liebhabern‘ der Astronomie zu sein.¹² Der Schreibkalender erscheint hier als ein Ersatz eines noch fehlenden astronomischen Fachjournals, das erst 1773 mit dem *Astronomischen Jahrbuch* für 1776, begründet von Johann Heinrich Lambert (1728–1777) und Johann Elert Bode (1747–1826) in Berlin, auf dem Sektor der wissenschaftlichen Journale erschien. Bis dahin füllten diejenigen Kalendermacher, die sich auch als Astronomen sahen, ihre Kalender zusätzlich mit astronomischen Inhalten, die allerdings von der historischen Forschung bisher kaum wahrgenommen wurden.¹³ Als Vorläufer des Berliner *Astronomischen Jahrbuchs* können nicht nur das *Jahr=Buch* seit 1667 und der *Himmels=Bothe* seit 1677 von Kirch, der *Verbesserte Calender* seit 1700 von Ulrich Junius (1670–1726) und der *Astronomische Calender* seit 1702 der Brandenburgischen Societät der Wissenschaften (den anfangs Kirch verfasste) gelten, sondern auch der *Finsternissen=Calender* für die Jahre 1676 und 1677 von Johann Christoph Sturm (1635–1703).¹⁴

7 Die astronomische Forschung befördern durch eine „Stern=Gesellschaft“

Um die Astronomie zu befördern, war es nicht nur erforderlich, die Schreibkalender als Mittel für die Kommunikation unter den Astronomen zu gebrauchen, sondern es wurde von Kirch die Gründung einer „Astronomischen Societät“ als sinnvoll erachtet. Erstmals hatte er diesen Vorschlag in einem Brief geäußert, den er zur Ostermesse 1675 von Königsberg aus an den Pfarrer und Kalendermacher Christoph Richter (1618–1680) schickte. Den ältesten gedruckten Beleg findet man in einem Kalender für 1676, dessen vermeintliche Verfasserin „Sibylla Ptolomaein/ eine Ziegeunerin von Alexandria aus Egypten“ und dessen Titel *Ziegeuner=Kalender* allerdings keinen modernen Gedanken im Kalenderinhalt vermuten lassen. Lässt man sich aber von diesen Äußerlichkeiten nicht abhalten, in dem Kalender zu lesen, so erfährt man in dem Kalendergespräch zwischen dem Sternseher Almoni und dem seltsamen Ploni (Abb. 7) Einzelheiten über Kirchs Vorschlag, nach dem Vorbild der Fruchtbringenden Gesellschaft (1617 in Köthen gegründet) und dem Elbschwanen-Orden (1658 in Hamburg gegründet) eine „Stern=Gesellschaft“ der fachlich ausgebildeten Astronomen ins Leben zu rufen. Kirch meinte, es

thäten doch die verständige rechtschaffene Sterngelehrten wol/ wann sie eine Stern=Gesellschaft machten/ wie etwan die Fruchtbringende Gesellschaft der SchwanenOrden/ und andere mehr



Abbildung 6. Doppelseite aus dem Zigeuner-Kalender (für 1676) der Sibylla Ptolomaein, einem Pseudonym von Gottfried Kirch, mit dem Kalendergespräch zwischen Almoni und Ploni über das Kalenderwesen. Im Verlauf des Gesprächs wird der Vorschlag zur Gründung einer „Stern=Gesellschaft“ vorgebracht.

sind/ in solche müste keiner genommen werden/ wann er nicht zuvor eine Astronomische Probe gethan/ sonderlich könnte ihm eine Sonnenfinsterniß aus zu rechnen vorgestellt werden. (Ptolomaein 1676: zweiter Teil, B4a)

In mehreren Briefen ab 1675 und in verschiedenen Kalendern aus dem Zeitraum von 1675 bis 1692 ging es um Kirchs Idee einer Societätsgründung. Mehrere Personen haben sich zu diesem Vorschlag geäußert – wiederum in einem Brief oder in einem Kalender.¹⁵ Kirchs Vorschlag wurde in einem großen Gebiet, das von Königsberg bis Ulm reichte, zur Kenntnis genommen. Die durchweg positiven Beurteilungen hinsichtlich des Sinns einer „Stern=Gesellschaft“, nicht nur für die „Calendariographia“, sondern auch für die „Astronomia“, blieben auch um 1690 noch berechtigt. Damals wiederholte Kirch seinen Vorschlag mit folgenden Worten:

Ich hielte vor sehr rathsam, daß man eine Astronomische Societät in Teutschland auff richtete, darin alle Astronomi in der gantzen Welt auffgenommen würden, ohne Unterschied der Religion. Und das ein bequemer Ort erwehlet würde, dahin alle Observationes könnten geschickt und daselbst als bald gedruckt werden, von dem solche Observationes wieder in alle Welt gesendet werden könnten. Frankfurt am Meyn, solte wol der beqvemste Ort darzu seyn, wegen der Meßsen und weil es die Schiffarth aus Holland hat.¹⁶

Als Visionär erwieß sich Kirch bei der Frage nach der Finanzierung, indem er eine international agierende Astronomische Societät als „von gemeinen Einkünfften“ zu finanzieren vorschlug.

Ebenso war er aber auch Realist, denn schon in seinem ersten Schreiben an Richter im Jahr 1675 bekannte er am Schluss:

Wie nun durch die Hochlöbl. Frucht=bringende Gesellschaft die Teutsche Sprache von der Verwilderung ist errettet/ und zu Ehren gebracht worden: also könnte gleichermassen die Calendario-graphia durch eine solche Stern=Gesellschaft von der schändlichen und schädlichen Verwilderung/ und von der Lügenhaftigen Boßheit errettet/ und wieder zu Ehren gebracht werden: ja es könnte der Edlen Astronomiae dadurch eine grosse Ehre und Beförderung wiederfahren. Dieses ist noch anzumercken/ daß durch mich und meines gleichen solches Werck zwar könne angegeben/ aber nicht werckstellig gemacht werden: Denn es wäre dazu vonnöthen ein vornehmes Haupt/ so solches befördern könnte: Welches Gott geben/ und aufrüsten wolle!¹⁷

Kirchs zurückhaltendes Urteil über die Möglichkeit der Gründung einer Astronomischen Gesellschaft zu seiner Zeit war berechtigt, denn diese geschah erst über einhundert Jahre später.¹⁸ Demgegenüber gelang im Jahr 1700 mit Förderung durch den Kurfürsten von Brandenburg in Berlin die Aufrichtung einer Societät für alle Wissenschaften.

8 *Das Anwerben eines Astronomen im Jahr 1697 für die Societät der Wissenschaften*

Die Vorgeschichte zur Gründung der Brandenburgischen Societät der Wissenschaften zu Berlin, deren erster Präsident Gottfried Wilhelm Leibniz war, ist sehr gut erforscht. Auch dass Kirch als der damals bedeutendste deutsche Astronom und angesehenste Kalendermacher als Kandidat für das Amt des ersten Königlichen Astronomen schnell in den Fokus von Leibniz und seinen Getreuen geriet, ist weithin bekannt.¹⁹ Jedoch sind die seit Oktober 1697 gewechselten Briefe von Johann Jacob Chuno (1661–1715) und Johann Gebhard Rabener (1632–1701) mit Kirch weniger bekannt. Sie geben aber interessante Details preis hinsichtlich der Versprechungen, die man von Berlin aus dem alternden Astronomen in Guben machte, und mit Blick auf die Konkurrenzsituation zu dem von Erhard Weigel geplanten *Collegium Artis Consultorum*, für das Kirch ebenfalls als Astronom vorgesehen war.²⁰ Chuno schrieb am 9./10. Oktober 1697 an Kirch:

Wihr seind mit einer Kunst Academie hir Versehen und wann Verschiedener guter freunde propositiones, so Bey einer guten occasion jezund auff die Bahn gebracht werden, wie Ich Hoffe, wohl außschlagen, so Hoffe ich so glücklich zusein Hier auch ein Observatorium Electorale und dabey M[einen]H[ochgeehrten]H[errn] Bestellet zusehen. H[err] Rabner meldet davon ein mehrers und werden Wihr in wenig wochen melden können waß wihr desHalb sichrer zuHoffen Haben, Inzwischen würde es Unß lieb seyn wann MHH in das Ihme von H. Weigell offerirten platzes annehmung sich nicht übereilete [...].²¹

Deutlich mehr Einzelheiten verriet Rabener, der noch am gleichen Tag an Kirch schrieb:

Wier haben alhier hoffnung, daß S[eine]e Churf[ürstliche] D[urchlaucht] Nach dem sie eine Academie von virtuösen künstlern angeleget, auch ein observatorium cum omni apparatu werden stifften, dazu Ich die plausibelsten vorschläge projectiret habe. Mein hochgeehrter herr ist benen-net, ad peragenda observationes vocirt zu werden, also, daß er eine freye Wohnung, ein salarium von 300 t[a]h[ler] etwas holtz, seine Familia freye Nahrung v[er] Handel, womit sie selbst wolte,

haben mögte. Welcher gehalt inß künfftige kan verbeßert werden. Eß wird sich in diesen Monat außweisen, Wie die resolution fallen werde. Ich hoffe, pro voto. Mein H[ochgeehrter]h[err] über- Eile sich indes Nicht, sondern lavire. Nosti ventositates D[omi]n[i] Weigelij.²²

Die Antwortschreiben von Kirch sind nicht überliefert, doch ist der Ausgang bekannt. Mit einem deutlich verbesserten Jahresgehalt von 500 Talern ausgestattet, wurde Kirch am 18. Mai 1700 als erstes Mitglied der noch in Gründung befindlichen Societät aufgenommen und zum ersten Königlichen Astronomen bestellt. Nicht so glücklich war Kirch indessen mit der instrumentellen Ausrüstung der noch im Bau befindlichen Berliner Sternwarte.²³ In keiner Weise reichten diese äußeren Voraussetzungen für eine astronomische Forschung auf höchstem Niveau, das seit dem Ende des 17. Jahrhunderts von den königlichen Sternwarten in Greenwich, Paris und Kopenhagen bestimmt wurde. Mit einem großen Mauerquadranten oder einem Meridiankreis, die den Astronomen in Greenwich und Kopenhagen zur Verfügung standen, konnten die Berliner Astronomen nicht mithalten. Aber das sollten sie anfangs auch nicht, denn die Hauptaufgabe für den Königlichen Astronomen in Berlin war es, die astronomischen Grundlagen für die Jahreskalender zu besorgen, die aufgrund des Kalendermonopols im Kurfürstentum Brandenburg-Preußen nur von der Societät in Berlin herausgegeben werden durften (Hamel 2010b). Die neuen, wegweisenden Entdeckungen im 18. Jahrhundert wie die der Eigenbewegung der Sterne (1718) und der Aberration des Sternlichts (1728) gelangen außerhalb von Berlin.

Anmerkungen

1. Der vorliegende Aufsatz beruht in Teilen auf den zuvor an anderen Stellen von mir publizierten Beiträgen Herbst (2010a) und Herbst (2015).
2. Felix Lühning bezweifelt diese von Hevelius genannte Brennweite als zu groß für eine Handhabbarkeit des Fernrohrs auf der Dachsternwarte von Hevelius, siehe Lühning (2008: 84).
3. Bibliothek des Observatorium Paris, C 1, Vol. 15, No. 2200. Die zu diesem Schreiben gehörige Zeichnung befindet sich in der Forschungsbibliothek Gotha, Chart. B 1196, S. 85. Vgl. Herbst (2006: Bd. 1, 141).
4. Forschungsbibliothek Gotha, Chart. B 1196, S. 87. Publiziert und kommentiert in Herbst (2006: Bd. 1, 142 und Bd. 3, 78 f.).
5. Bibliothek des Observatorium Paris, C 1, Vol. 15, No. 2212. Publiziert und kommentiert in Herbst (2006: Bd. 1, 145–149 und Bd. 3, 82 f., Zitat Bd. 1, 146).
6. Dieser Vorgang wurde in einem Brief von Gottfried Schultz an Gottfried Kirch vom 29.11./9.12.1684 beschrieben, siehe Herbst (2006: Bd. 1, 308–310), vgl. Herbst (2014: 624) und Herbst (2013a).
7. Universitätsbibliothek Leipzig, Ms 01322, Bl. 152r–153v. Publiziert und kommentiert in Herbst (2006: Bd. 1, 10–12 und Bd. 3, 9 f., Zitat Bd. 1, 11 f.).
8. Die ersten Jahrgänge für 1667, 1668, 1670 und 1671 wurden vor kurzem als Reprint neu herausgebracht, um sie der Forschung besser zugänglich zu machen, vgl. URL: www.gottfried-kirch-edition.de (besucht am 14. 6. 2016).
9. Diese Anzahl wurde exemplarisch erstmals nachgewiesen für das Jahr 1685 in Herbst (2004: 117). Vgl. jetzt den korrigierten Nachweis in Herbst (2011: 91).
10. Siehe die Zusammenstellung im BHK (2014: Kirch, Gottfried).
11. Kirch (1692: zweiter Teil, G1a–G3b). Kirch gab die Auszüge aus den vier Briefen deutsch wieder, betonte aber, daß es sich in zwei Fällen (Kochanski, Wurzelbaur) um Übersetzungen aus den ihm zugeschickten lateinischen Briefen handelt. Die originalen Briefe sind publiziert und kommentiert in Herbst (2006: Bd. 2, 60–66, 84 f. und Bd. 3, 331–335, 350).
12. Dazu ausführlich in Herbst (2009).
13. Dazu ausführlich in Herbst (2010b).
14. Dazu ausführlich in Herbst (2013b).
15. Siehe die Übersicht in Herbst (2010c: 245 f.).

16. Gottfried Kirch: Brief an Gottlieb Kirch vom 14./24. Juni 1690. Universitätsbibliothek Leipzig, Ms 01322, Bl. 165r–166v. Publiziert und kommentiert in Herbst (2006: Bd. 2, 38–40 und Bd. 3, 316–318, Zitat Bd. 2, 40).
17. Gottfried Kirch: Brief an Christoph Richter, Ostermesse 1675, zitiert nach dem Flugblatt, das zwischen dem Kalendarium und dem Prognostikum eingebunden ist in Richter (1676). Das Schreiben ist vollständig zitiert in Herbst (2009: 192–194). Der Richtersche Kalender wurde erst nach Drucklegung der Briefedition aufgefunden, weshalb darin dieses Schreiben als nicht überliefert angegeben wird, siehe Herbst (2006: Bd. 1, 12).
18. Vgl. Herbst (2002: 139–143).
19. Vgl. z. B. Brather (1993).
20. Herbst (2002: 146–149).
21. Johann Jacob Chuno: Brief an Gottfried Kirch vom 9./19. Oktober 1697. Universitätsbibliothek Basel, Ms L Ia 684, S. 687–690. Publiziert und kommentiert in Herbst (2006: Bd. 2, 239–241 und Bd. 3, 437, Zitat Bd. 2, 239 f.).
22. Johann Gebhard Rabener: Brief an Gottfried Kirch vom 9./19. Oktober 1697. Universitätsbibliothek Basel, Ms L Ia 717, Bl. 9r–v. Publiziert und kommentiert in Herbst (2006: Bd. 2, 241 und Bd. 3, 437 f.).
23. Dazu ausführlich in Herbst (2007) und Hamel (2010a).

Abbildungsnachweise

Abb. 1: akg-images/Science Photo Library/Cci Archives

Abb. 2: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 137.4^o(10)

Abb. 3: Forschungsbibliothek Gotha der Universität Erfurt, Math. 2^o 43/2 (1)

Abb. 4: Observatoire de Paris, Delisle Collection, B 1.9, No. 89, 13, F

Abb. 5a, 5b: Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek Jena, 2003 A 7699: 1–12

Abb. 6: Stadtverwaltung Altenburg/Stadtarchiv, Historische Haus- und Schreibkalender, Jahrgang 1676

Literatur

- BHK (2014). *Biobibliographisches Handbuch der Kalendermacher von 1550 bis 1750*. Erarbeitet von Klaus-Dieter Herbst. URL: <http://www.presseforschung.uni-bremen.de/dokuwiki/doku.php?id=startseite> (besucht am 14. 6. 2016).
- Brather, Hans-Stephan (1993). *Leibniz und seine Akademie. Ausgewählte Quellen zur Geschichte der Berliner Societät der Wissenschaften 1697–1716*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Classen, Johannes (1977). 15 *Kometenflugblätter des 17. und 18. Jahrhunderts*. Veröffentlichungen der Sternwarte Pulsnitz, Nr. 11. Sonderdruck aus: *Die Sterne* 52 (1976) 2, S. 98–114 und 52 (1976) 3, S. 172–184.
- Hamel, Jürgen (2010a). „Die Instrumente der Berliner Sternwarte, 1700 bis um 1780“. In: *Gottfried Kirch (1639–1710) und die Berliner Astronomie im 18. Jahrhundert*. Beiträge des Kolloquiums am 6. März 2010 in Berlin-Treptow. Hrsg. von Jürgen Hamel. Frankfurt am Main: Harri Deutsch (= Acta Historica Astronomiae, Vol. 41), S. 65–111.
- (2010b). „Edikt zur Gründung der Churfürstlichen Societät der Wissenschaften zu Berlin und der Berliner Sternwarte, 10. Mai 1706“. In: *Gottfried Kirch (1639–1710) und die Berliner Astronomie im 18. Jahrhundert*. Beiträge des Kolloquiums am 6. März 2010 in Berlin-Treptow. Hrsg. von Jürgen Hamel. Frankfurt am Main: Harri Deutsch (= Acta Historica Astronomiae, Vol. 41), S. 12–17.
- Herbst, Klaus-Dieter (2002). „Der Societätsgedanke bei Gottfried Kirch (1639–1710), untersucht unter Einbeziehung seiner Korrespondenz und Kalender“. In: *Beiträge zur Astronomiegeschichte*. Band 5. Hrsg. von Wolfgang R. Dick und Jürgen Hamel. Frankfurt am Main: Harri Deutsch (= Acta Historica Astronomiae, Vol. 15), S. 115–151.
- (2004). „Die Kalender von Gottfried Kirch“. [Eine Bibliographie. Erstellt unter Einbeziehung seiner Korrespondenz.] In: *Beiträge zur Astronomiegeschichte*. Band 7. Hrsg. von Wolfgang R. Dick und Jürgen Hamel. Frankfurt am Main: Harri Deutsch (= Acta Historica Astronomiae, Vol. 23), S. 115–159.
- (2006). *Die Korrespondenz des Astronomen und Kalendermachers Gottfried Kirch (1639–1710)*. In drei Bänden herausgegeben und bearbeitet von Klaus-Dieter Herbst unter Mitwirkung von Eberhard Knobloch und Manfred Simon sowie mit einer Graphik von Ekkehard C. Engelmann versehen. Band 1: Briefe 1665–1689, Band 2: Briefe 1689–1709, Band 3: Übersetzungen, Kommentare, Verzeichnisse. Jena: IKS Garamond.
- (2007). „Die astronomischen Instrumente von Gottfried Kirch“. In: *Der Meister und die Fernrohre. Das Wechselspiel zwischen Astronomie und Optik in der Geschichte*. Festschrift zum 85. Geburtstag von Rolf Riekher. Hrsg. von

- Jürgen Hamel und Inge Keil: Frankfurt am Main: Harri Deutsch (= Acta Historica Astronomiae, Vol. 33), S. 203–228.
- (2009). „Die Jahreskalender – Ein Medium für gelehrte Kommunikation“. In: *Kommunikation in der Frühen Neuzeit*. Hrsg. von Klaus-Dieter Herbst und Stefan Kratochwil: Frankfurt am Main, Berlin, Bern, Brüssel, New York, Oxford, Wien: Peter Lang Wissenschaftsverlag, S. 189–224.
 - (2010a). „Zum 300. Todestag des Astronomen und Kalendermachers Gottfried Kirch“. In: *Gottfried Kirch (1639–1710) und die Berliner Astronomie im 18. Jahrhundert*. Beiträge des Kolloquiums am 6. März 2010 in Berlin-Treptow. Hrsg. von Jürgen Hamel. Frankfurt am Main: Harri Deutsch (= Acta Historica Astronomiae, Vol. 41), S. 22–33.
 - (2010b). „Die Schreibkalender der Frühen Neuzeit – eine noch wenig genutzte Quelle für die Astronomiegeschichtsschreibung“. In: *400 Jahre Kepler, Galilei, das Fernrohr und die neue Astronomie*. Vorträge auf dem Kolloquium der Leibniz-Sozietät am 28. Februar 2009. Hrsg. von Jürgen Hamel. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag (= Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 103), S. 31–48.
 - (2010c). *Die Schreibkalender im Kontext der Frühaufklärung*. Jena: Verlag Historische Kalender Drucke (= Acta Calendariographica – Forschungsberichte, Bd. 2).
 - (2011). „Das Pressemedium Zeitung in den großen Schreibkalendern“. In: *Die Entstehung des Zeitungswesens im 17. Jahrhundert. Ein neues Medium und seine Folgen für das Kommunikationssystem der Frühen Neuzeit*. Hrsg. von Volker Bauer und Holger Böning. Bremen: edition lumière (= Presse und Geschichte. Neue Beiträge, Bd. 54), S. 87–114.
 - (2013a). „Hevelius's Correspondence with Scholars in Leipzig“. In: *Johannes Hevelius and His World. Astronomer, Cartographer, Philosopher and Correspondent*. Edited by Richard L. Kremer and Jarosław Włodarczyk. Warsaw: Instytut Historii Nauki PAN w Warszawie (= Studia Copernicana XLIV), S. 201–211.
 - (2013b). „Der Finsternissen-Calender für 1676 von Johann Christoph Sturm als erstes astronomisches Jahrbuch“. In: *Finsternissen-Calender für das Jahr 1676 verfaßt von Johann Christoph Sturm*. Neu herausgegeben von Klaus-Dieter Herbst mit einem Beitrag von Klaus-Dieter Herbst über den Kalender als astronomisches Jahrbuch. Reprint Jena: Verlag Historische Kalender Drucke (= Acta Calendariographica – Kalenderreihen, Bd. 2.2), S. 11–41.
 - (2014). „Die deutsche Hevelius-Forschung“. In: *Correspondance de Johannes Hevelius*. Tome I: Prolégomènes critiques. Sous la direction de Chantal Grell. Turnhout: Brepols, S. 621–641.
 - (2015). „Johannes Hevelius und die Astronomie in der Mitte des 17. Jahrhunderts“. In: *Himmelspektakel. Astronomie im Protestantismus der Frühen Neuzeit*. Katalog zur Ausstellung der Universitäts- und Forschungsbibliothek Erfurt/Gotha in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Astronomischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Hrsg. von Sascha Salatowsky und Karl-Heinz Lotze. Gotha: Forschungsbibliothek, S. 106–115.
- Hevelius, Johannes (1647). *Selenographia: Sive, Lunae Descriptio; Atque Accurata, Tam Macularum Ejus, Quam Motuum Diversorum, Aliarumque Omnium Vicissitudinum, Phasiumque, Telescopii Ope Deprehensarum, Delineatio. In qua simul caeterorum omnium Planetarum nativa facies, variaeque observationes, praesertim autem Macularum Solarium, atque Jovialium, Tubospicillo acquisitae, figuris accuratissimè aeri incisus, sub aspectum ponuntur: nec non quamplurimae Astronomicae, Opticae, Physicaeque quaestiones proponuntur atque resolvuntur. Addita Est, Lentes Expoliendi Nova Ratio; Ut Et Telescopia Diversa Construendi, Et Experiendi, horumque adminiculo, varias observationes Coelestes, inprimis quidem Eclipsium, cum Solarium, tum Lunarium, exquisitè instituendi, itemque diametros stellarum veras, viâ infallibili, determinandi methodus: eoque, quicquid praeterea circa ejusmodi observationes animadverti debet, perspicuè explicatur*. Danzig 1647. Exemplar der Forschungsbibliothek Gotha, Sign. Math. 2° 43/2 (1).
- (1673). *Machinae Coelestis Pars Prior; Organographiam, Sive Instrumentorum Astronomicorum omnium, quibus Auctor hactenus Sidera rimatus, ac dimensus est, Accuratam Delineationem, Et Descriptionem, Plurimis Iconibus, aeri incisus, illustratam & exornatam, exhibens: Cum Aliis quibusdam, tam jucundis, quam scitu dignis, ad Mechanicam, Opticamque Artem pertinentibus; In primis, De Maximorum Tuborum Constructione, & commodissimâ Directione; Nec Non Novâ ac Facillimâ Lentes quasvis, ex sectionibus Conicis, expoliendi Ratione*. Danzig 1673. Exemplar der Forschungsbibliothek Gotha, Sign. Math. 2° 00056/04 (03).
- [Hevelius, Johannes] (1682). „Excerptum Ex Literis Illustris Hevelii die 9 Junii, hoc anno, Gedani datis, de phaenomeno quodam aëreo observato“. In: *Acta Eruditorum*, S. 282. Exemplar der Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek Jena, Sign. 4 Bud. Hist. lit. 158.
- Kirch, Gottfried (1677). *Christen= Jüden= und Türcken=Kalender*, Jg. 1677, Annaberg: David Nicolai. Exemplar der Sächsischen Landes- und Universitätsbibliothek Dresden, Sign. Chron. 788.

- (1681). *Neue Himmels=Zeitung/ Darinnen sonderlich und ausführlich von den zweyen neuen grossen im 1680. Jahr erschienenen COMETEN/ Deren Gestalt/ Grösse/ Stand und Bewegung/ wie auch andern in solchem Jahr am Himmel vorgegangen merckwürdigen Begebenheiten/ Umständiger und gründlicher Bericht zu finden: Dem in einem Gespräch mit beygefüget worden Etliche unvorgreifliche Muthmassungen/ was hierauf auf Erden erfolgen möchte.* Nürnberg: Endter. Exemplar der Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek Jena, Sign. 4 Math. VII, 91 (1).
- (1682). *Annus II. Ephemeridum Motuum Coelestium Ad Annum Aerae Christianae 1682.* Leipzig: In Sumptibus Autoris. Exemplar der Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek Jena, Sign. 2003 A 7699:2.
- (1692). *Christen= Jüden= und Türcken=Kalender*, Jg. 1692, Nürnberg: Endter. Exemplar des Germanischen Nationalmuseums Nürnberg, Sign. Nw 2591.
- Lühning, Felix (2008): „Die Rekonstruktion der Hevelschen Sternwarte. Ein Indizienprozess“. In: *Beiträge zur Astronomiegeschichte*. Band 9. Hrsg. von Wolfgang R. Dick, Hilmar W. Duerbeck und Jürgen Hamel. Frankfurt am Main: Harri Deutsch (= Acta Historica Astronomiae, Vol. 36), S. 57–88.
- [Pfautz, Christoph] (1696): „Mercurii In Sole Anno M DC XC, D. XXXI. Oct. St. Vet. Visi, Observationes“. In: *Actorum Eruditorum Quae Lipsiae Publicantur Supplementa*. Tomus II, S. 276–282. Exemplar der Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek Jena, Sign. 4 Bud. Hist. lit. 185.
- Ptolomaein, Sibylla [= Gottfried Kirch] (1676). *Der rechte zu erst erfundene Ziegeuner=Kalender*, Jg. 1676, Annaberg: David Nicolai. Exemplar des Stadtarchivs Altenburg, Hauskalender 1676 (56).
- (1687). *Der rechte zu erst erfundene Ziegeuner=Kalender*, Jg. 1687, Annaberg: David Nicolai. Exemplar der Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel, Sign. Ne Kapsel 4 (7).
- Richter, Christoph (1676). *Jabres=Zeiger Oder Alter und Neuer Schreib=Kalender*, Jg. 1676, Leipzig: Johann Bauer. Exemplar des Stadtarchivs Altenburg, Hauskalender 1676 (9).
- Trew, Abdias (1654). *Endlicher Bescheid auff die Hiebnerische Vnwarhafftige Apologiam und andere ungründliche und unverschemte Aufschneidungen von den Finsternissen/ benandlich deren Anno 1654 den 2 (12) Augusti erscheinenden wie groß dieselbe bey nahe mitten im Teutschland nahmentlich zu Nürnberg Nach der besten Astronomorum tabulis und meinungen komme/ und was sie bedeute Item Von rechtem Mathematischen grund der Nativitätsfiguren, und deren auffrichtung Vnd wie grob sich Hiebner in diesem allen verschnitten. Zur nachricht denen die sich für Aberglauben wollen warnen lassen durch M. A. T. P. P. Altdorf 1654.* Exemplar der Stadtbibliothek Nürnberg, Sign. Amb. 137 (10) 4.

Roland Wielen

Das Kalender-Edikt des Brandenburgischen Kurfürsten Friedrich III. vom 10. Mai 1700

1 *Das Kalender-Edikt*

Am 10. Mai 1700 erließ der Brandenburgische Kurfürst Friedrich III. (1657–1713) das Kalender-Edikt. Das Edikt wurde in gedruckter Form an alle Orte, die im Besitz des Kurfürsten waren, mit der Auflage verschickt, es dort von den Kanzeln der Kirchen zu verlesen und es auch an geeigneter Stelle anzuschlagen. Obwohl diese gedruckten Exemplare daher in großer Zahl verteilt wurden, haben sich nur sehr wenige der Drucke bis heute erhalten. Eines dieser seltenen Exemplare befindet sich im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts in Heidelberg (Abb. 1). Der vollständige Text des Kalender-Edikts ist in Kapitel 5 wiedergegeben.

Die dem Druck zugrunde liegende handschriftliche Ausfertigung des Kalender-Edikts befindet sich im Geheimen Staatsarchiv der Stiftung Preußischer Kulturbesitz in Berlin-Dahlem. In Abb. 2 zeigen wir die letzte Seite dieses Dokuments. Auf dieser Seite befindet sich die Originalunterschrift des Kurfürsten und sein Papiersiegel. Bestätigt wird das Edikt durch die zusätzliche Unterschrift des Grafen Johann Kasimir Kolb von Wartenberg (1643–1712), eines der engsten Berater des Kurfürsten.

In seinem Edikt verkündet der Kurfürst die Gründung einer Sternwarte in Berlin und die Absicht, dort eine Akademie der Wissenschaften einzurichten. Die Akademie wurde formal erst zwei Monate später, mit dem Stiftungsbrief des Kurfürsten vom 11. Juli 1700, ins Leben gerufen.

Zur Finanzierung der Akademie, der Sternwarte und ihrer Astronomen verleiht das Edikt vom 10. Mai 1700 der Akademie ein Privileg auf die Herausgabe und Kontrolle von Kalendern in allen Landen des Brandenburgischen Kurfürsten. Das Kalender-Edikt wird daher auch als „Kalender-Patent“ bezeichnet, wobei hier Patent im Sinne einer Urkunde über ein erteiltes Privileg zu verstehen ist.

2 *Das Kalender-Privileg der Akademie*

Der Akademie wurde mit dem Privileg das alleinige Recht zur Herausgabe und zum Vertrieb von Kalendern in allen Landen des Brandenburgischen Kurfürsten erteilt. Die Einnahmen aus diesem Kalender-Geschäft waren lange Zeit die einzige Finanzierungsquelle der Akademie. Da der Kalender damals nach der Bibel das am weitesten verbreitete Druckerzeugnis war, genügte ein relativ kleiner Aufschlag, um die notwendigen Finanzmittel für die Akademie zu erhalten. Um die Verbreitung illegaler Kalender zu verhindern, enthält das Kalender-Edikt entsprechende Strafandrohungen für Übeltäter, wobei aber deutlich zwischen Kleinverbrauchern und Händlern



Abbildung 1. Gedruckte Version des Kalender-Edikts des Brandenburgischen Kurfürsten Friedrich III. vom 10. Mai 1700. Im Original ca. 39,9 cm breit und 32,5 cm hoch.

unterschieden wird. Für unser heutiges Rechtsempfinden klingt es allerdings bedenklich, dass der verurteilende Richter selbst ein Fünftel der Strafsomme erhält.

Die Idee zur Finanzierung der Akademie durch das Kalender-Privileg stammte von Leibniz. Erst dadurch wurde die Gründung der Akademie und der Sternwarte möglich, die sonst aus Geldmangel nicht gewährleistet war. Allerdings hat Leibniz die grundsätzliche Idee von Erhard Weigel (1625–1699), der Professor der Mathematik an der Universität Jena war und der ein ähnliches Kalender-Privileg für eine deutschlandweite Akademie vorgeschlagen hatte, übernommen.

Die Hintergründe des Kalender-Privilegs sind ausführlich im mehrbändigen Werk von Harnack (1900) zur Geschichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften beschrieben. Alle Bände dieses Werks sind auf den Internetseiten der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften frei einsehbar (siehe Literaturverzeichnis). Das Kalender-Privileg der Akademie erlosch um 1811 im Zuge der Humboldtschen Reformen. Die Akademie, die Sternwarte und ihre Astronomen wurden nun direkt vom Preussischen Staat finanziert. In seinem Edikt vom 10. Januar 1811 übertrug Friedrich Wilhelm III. das Kalender-Privileg einer speziellen „Königlichen Kalender-Deputation“ (siehe dazu z. B. Kapitel 3 von R. und U. Wielen 201a).

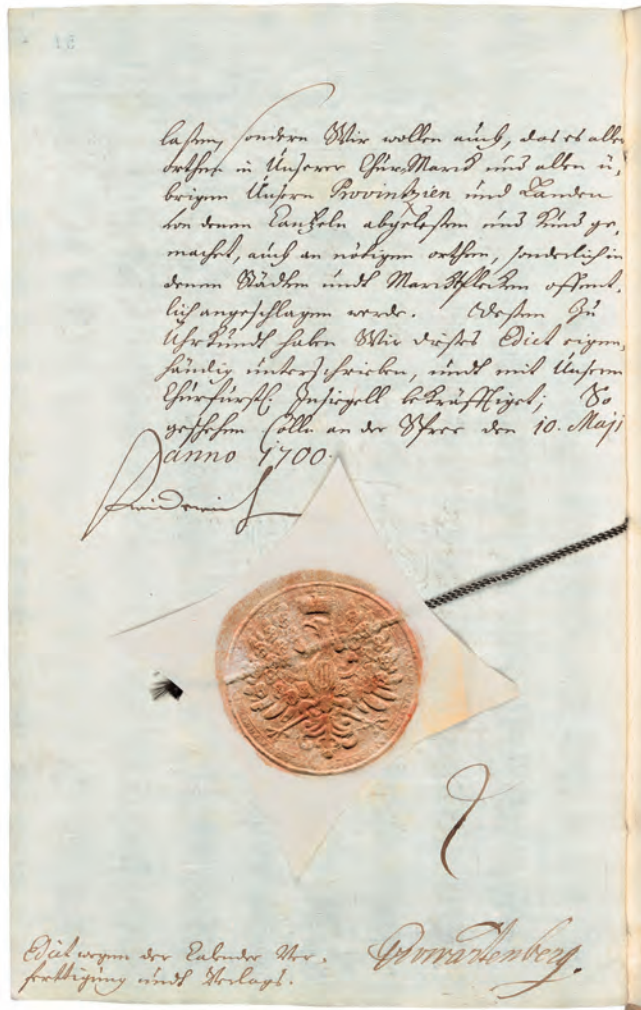


Abbildung 2. Letzte Seite der handschriftlichen Ausfertigung des Kalender-Edikts vom 10. Mai 1700 mit der eigenhändigen Unterschrift „Friedrich“ des Brandenburgischen Kurfürsten Friedrich III. und seinem Papier-Siegel

Seit langer Zeit werden die „Astronomischen Grundlagen für den Kalender“ in Deutschland vom Astronomischen Rechen-Institut berechnet und als Hilfsmittel für die Kalender-Hersteller jährlich herausgegeben, allerdings ohne ein einträgliches Privileg. Das Astronomische Rechen-Institut ist 1874 aus der Berliner Sternwarte hervorgegangen und sieht in dem Kalender-Edikt von 1700 auch seine Gründungsurkunde. Das Institut befand sich lange Zeit in Berlin, zunächst in Kreuzberg, ab 1912 in Dahlem. 1945 wurde es auf Weisung der amerikanischen Militärverwaltung nach Heidelberg verlagert. Die Kalender-Berechnung ist allerdings nur noch ein sehr kleiner Teil der Aufgaben des Instituts. Das Astronomische Rechen-Institut widmet sich heute als Teil des Zentrums für Astronomie der Universität Heidelberg vor allem der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Astronomie.

3 *Hintergrund: Die evangelische Kalender-Reform von 1700*

Julius Caesar hat eine grundlegende Reform des römischen Kalenders veranlaßt, die in den Jahren 708 (annus confusionis) bzw. 709 a. u. c. (ab urbe condita, d. h. nach Gründung der Stadt Rom) wirksam wurde (nach unserer heutigen Zählung in den Jahren 47–45 v. Chr.). Seither beruhte der Kalender in Europa auf dem Sonnenjahr von 365 Tagen mit einem zusätzlichen Schalttag alle vier Jahre (dem 29. Februar). Er wird als „Julianischer Kalender“ bezeichnet. Noch heute wird dieser von Teilen der orthodoxen Kirche benutzt. Da das mittlere Julianische Kalenderjahr mit 365,25 Tagen um ungefähr 11 Minuten länger als das tatsächliche („Tropische“) Sonnenjahr ist, ergab sich im Laufe vieler Jahrhunderte eine merkliche Abweichung zwischen dem Kalender und dem wirklichen Sonnenlauf. Deshalb reformierte Papst Gregor XIII. (1502–1585) den alten Julianischen Kalender in der päpstlichen Bulle „Inter gravissimas curas“ vom 24. Februar 1582. Er ordnete an, 10 Tage zu überspringen, führte eine neue Schaltregel ein (Schalttag nicht in den Jahren 1700, 1800, 1900 und nicht 2100, 2200, 2300 usw., aber doch 1600, 2000, 2400 usw.) und verbesserte die alte formale Regel zur Bestimmung des Osterdatums über das Datum des ersten Frühlingsvollmondes. Diesen „Gregorianischen Kalender“ benutzen wir noch heute. Im Mittel stimmt das Gregorianische Kalenderjahr mit seinen 365,2425 Tagen mit dem (zeitlich leicht variablen) Tropischen Jahr viel besser überein. Das mittlere Kalenderjahr ist heute weniger als eine halbe Minute zu lang, je nach genauer Definition des Tropischen Jahres.

Die Protestanten billigten aber dem Papst kein Recht für eine Kalenderreform zu und behielten zunächst den Julianischen Kalender bei. Erst am 23. September 1699 (julianisch, d. h. am 3. Oktober gregorianisch) beschlossen die Evangelischen Reichsstände auf dem immerwährenden Reichstag zu Regensburg, für sich ab dem Jahr 1700 einen „Verbesserten Kalender“ einzuführen. Für die Zählung der Tage übernahmen sie de facto den Gregorianischen Kalender und ließen bei sich daher 11 Tage ausfallen (den 19. bis 29. Februar 1700). Allerdings sollte das Osterfest (am ersten Sonntag nach dem ersten Vollmond nach Frühlingsanfang) auf astronomisch korrekte Weise (und nicht näherungsweise nach dem Oster-Algorithmus) bestimmt werden. Diese Bezugnahme auf die Astronomie war der wesentliche Grund, warum man 1700 in Berlin Astronomen einstellte und eine Sternwarte errichtete. Das Kalender-Edikt spricht diesen Aspekt ausdrücklich an.

Der Gregorianische und der Verbesserte Kalender unterschieden sich immer noch in bestimmten Jahren (1724, 1744) im Osterdatum und damit in einem großen Teil des Kirchenkalenders (z. B. auch im Datum des Rosenmontags, denn dieser liegt immer sieben Wochen vor dem Ostermontag). Erst Friedrich dem Großen gelang es, 1775/76 die volle Annahme des Gregorianischen Kalenders als „Allgemeiner Reichskalender“ ab 1777 zu erreichen, kurz bevor es 1778 wieder zu unterschiedlichen Osterterminen gekommen wäre. Friedrich der Große war an der Bereinigung des divergierenden Ostertermins besonders interessiert, weil nach seiner Eroberung des überwiegend katholischen Schlesiens dort der Ostersonntag im Jahr 1744 weiterhin nach dem Gregorianischen Kalender am 5. April gefeiert werden durfte, während im übrigen, mehrheitlich protestantischen Preußen der 29. März als Ostersonntag galt, weil sich dies so aus den Regeln des Verbesserten Kalenders und den korrekten astronomischen Ephemeriden ergab.

4 Der Verbesserte Kalender für das Jahr 1701

Der Brandenburgische Verbesserte Kalender für 1701 ist der erste Kalender, der unter der Aufsicht der Brandenburgisch-Preussischen Akademie der Wissenschaften erschienen ist. Der Autor des Kalenders ist der Astronom und Kalendermacher Gottfried Kirch (1639–1710). Er war am 18. Mai 1700 zum ersten „astronomo ordinario“ in Berlin ernannt worden.

Es gab verschiedene Ausgaben des Kalenders. Wir zeigen hier einen Auszug aus einem Kalender im Kleinformat (ca. 8×10 cm). Abb. 3 zeigt das Titelblatt des Kalenders, Abb. 4 sein Vorwort.

In den Abb. 5 und 6 zeigen wir als Beispiele zwei Seiten des eigentlichen Kalenders. Jede Seite enthält zunächst die Abfolge der Tage (das sogenannte Kalendarium) mit den zugehörigen Namenstagen. Die dritte Spalte zeigt mit Symbolen an, in welchem Sternbild des Tierkreises sich der Mond an diesem Tag befunden hat.

Die vierte Spalte enthält einerseits astronomische Daten, z. B. letztes Viertel des Mondes (Halbmond, abnehmend) am 1. Januar um 7 Uhr 39 nachmittags, eine Konjunktion (nahe scheinbare Begegnung) von Saturn und Mars am 8. Januar, oder Neumond am 29. November um 10 Uhr 54 nachmittags, d. h. um 22 Uhr 54. Andererseits sind dort auch Wetterprognosen gegeben, z. B. für die Tage vom 16. bis 19. November: „Feiner Sonnenschein. Ein kleines Nachsömmchen.“.

Die Tageslänge und die Auf- und Untergangs-Zeiten der Sonne sind am Fuß der Kalenderseiten für jeden fünften Tag vermerkt.

In den Abb. 7 und 8 zeigen wir den dreiseitigen Anhang des Kalenders. Im ersten Abschnitt des Anhangs wird unter anderem eine partielle Mondfinsternis am 22./23. Februar näher beschrieben.

Hinsichtlich der detaillierten Wetterprognosen und der im zweiten Abschnitt des Anhangs aufgeführten Tage, die für Säen und Pflanzen gut geeignet seien, befand sich die Akademie in einem Zwiespalt: Einerseits war klar, dass diese Angaben unwissenschaftlich waren. Andererseits erwarteten die meisten Käufer, unter denen sich sehr viele Landwirte befanden, solche Informa-



Abbildung 3. Titelblatt des Chur-Brandenburgischen Kalenders für 1701



Abbildung 4. Vorwort zum Chur-Brandenburgischen Kalender für 1701

tionen. Die Akademie gab hier offensichtlich ihrem wirtschaftlichen Interesse an einem hohen Absatz ihrer Kalender den Vorrang.

5 Text des Kalender-Edikts

Der nachfolgende Text des Kalender-Edikts vom 10. Mai 1700 beruht auf der gedruckten Version des Edikts, die in Abb. 1 gezeigt ist. Für eine genaue Edition des Textes, insbesondere hinsichtlich der verschiedenen im Druck benutzten Typen, verweisen wir auf Kapitel 6.1.6 von R. und U. Wielen (2011a). Im dortigen Kapitel 6.1.5 werden auch die Abweichungen zwischen den ersten Entwürfen, der handschriftlichen Ausfertigung und der endgültigen Druckversion des Edikts beschrieben.

Wir Friderich der Dritte, von Gottes Gnaden, Marggraf zu Brandenburg, des Heil. Röm. Reichs Ertz-Cammerer und Churfürst, in Preussen, zu Magdeburg, Cleve, Jülich, Berge, Stettin, Pommern, der Cassuben und Wenden, auch in Schlesien zu Crossen Hertzog, Burggraf zu Nürnberg, Fürst zu Halberstadt, Minden und Camin, Graf zu Hohenzollern, der Marck und Ravensberg, Herr zu Ravenstein und der Lande Lauenburg und Bütow. Fügen hiermit jedermänniglich zu wissen; Nachdem aus Landes-Väterlicher Vorsorge Wir allezeit dahin bedacht gewesen, wie in unserm Churfürstenthum und Landen, nicht nur die Handlung und Gewerbe, sondern auch nützliche gute Künste und Wissenschaften, zum besten des gemeinen Wesens und derer Ein-

Verbessertter Januarius. Jenner.			
Sonnab.	1. Neujahr.	2. 7. 9. Nachlaß	
2.	Ehr. Flucht in	Eg	plen. Matth. 2.
Sonntag	2 nach N. J.	2.	der Kälte.
Montag	3 Enoch	3.	tsindigt und
Dienstag	4 Loth	4.	nicht alzuheße
Mittwoch	5 Simeon	5.	tige Kälte.
Donnerst.	6 H. 3. König.	6.	8 wird früh
Freitag	7 Adorus	7.	lichtbar.
Sonnab.	8 Erhardus	8.	ho kusst.
2.	Jesus 12. Ja	hr a	lt. Luc. 2.
Sonntag	9 Epiph.	9.	G. 1. o. 9. Frost
Montag	10 Paul Eins.	10.	und Schne.
Dienstag	11 Hyginus	11.	Frost und
Mittwoch	12 Reinhold	12.	Schnee / oder
Donnerst.	13 Hilarius	13.	nur Regen.
Freitag	14 Felix	14.	Regen oder
Sonnab.	15 Maurus	15.	Schnee.
3.	Hochzeit zu E	ana	Joh. 2.
Tages-Länge O Aufgang O Untergang.			
5	7 h. 36 m.	8 U. 12 m.	3 U. 48 m.
10	7 44	8 8	3 52
15	7 58	8 1	3 59

Abbildung 5. Seite für den 1.–15. Januar im Chur-Brandenburgischen Kalender für 1701

wohner mehr und mehr gepflanzet, und in Auffnehmen gebracht werden möchten, Wir auch zu solchem Ende, so wohl in dem einem als den anderen verschiedene nützliche Etablissemens zu stifften, keine Gelegenheit vorbeý gelassen; Und es dann auch durch des Höchsten Gnade vor weniger Zeit dahin gediehen, daß durch einen unter denen Evangelischen Reichs-Ständen gefassten einmüthigen Schluß, das Calender-Wesen auf einen verbesserten Fuß gerichtet, und dabeneben dahin abgezihlet worden, wie künftigh die Zeit-Rechnung nach dem Astronomischen Calculo und Observationen geführt, und wie billig verbessert werden möchte: Daß Wir dahero veranlasset, und bewogen worden, in Unsern hiesigen Residentzien ein Observatorium des Himmels, und Societatem Scientiarum in Physicis, Astronomicis, auch sonsten in Mathematicis, Mechanicis und andern dergleichen nützlichen Wissenschaften und Künsten anzurichten, und mit gelehrten Gliedern, guten Gesetzen, benöthigten Gebäuden, auch anderen erfordernden Bequemlichkeiten und Unterhaltungs Mitteln, dergestalt zu versehen und zu beneficiren, daß so wohl die abgezihlte Aufnahme der Wissenschaften in Unsern Landen erreicht, als auch die in gedachtem Regensburgischen Schluß an Hand gegebene, an sich selbst hochnöthige Observationes zu Verbesserung der Astronomie vorgenommen werden können; Gestalt dann dieses sehr nützliche Werck unter Unserm besondern eigenem Schutz und Ober-Direction durch ordentliche Zusammenkünffte und Anstellung der Observationen mit nechstem seinen Anfang nehmen wird.

Alldieweilen Wir nun denen bey diesem Unserm Observatorio und Societät bestellten, in der Stern-Rechnung so wohl, als Observationibus geübten Astronomis zu Verhütung aller Unordnung, die Ausrechnung und Verfertigung, der gantzen Societät aber, den Verlag derer verbesserten oder sonst üblichen Calender, in allen Unsern Chur- und übrigen Landen aus eigener hohen Bewegniß, um so viel mehr in Gnaden aufgetragen, und sie damit alleinig und privativè privilegiert

Verbesserter November, Winterm.					
Mittwoch	16	Thomaz	11	Feiner Sonnenschein.	
Donnerst.	17	Hugo	11	Ein kleines Nachschömmen.	
Freitag	18	Gelasius	11		
Sonntag	19	Elisabeth	11		
47.		Vom Jüngste	n	richt. Matth. 25.	
Sonntag	20	26. Luth.	11	Neu wieder etwas kälter.	
Montag	21	Mar. Dpf	11	Ein 2. Schelf.	
Dienstag	22	Edicilia	11	6. 44. 4. Noch	
Mittwoch	23	Elemeß	11	Sonnenschein.	
Donnerst.	24	Chrysogon	11	Gut Wetter zur	
Freitag	25	Calixtus	11	späten Herbst.	
Sonntag	26	Conradus	11		
48.		Christi Fidei	11	Matth. 21.	
Sonntag	27	1. Advent.	11	Saat. Mehrere	
Montag	28	Günther	11	theils trocken	
Dienstag	29	Saturninus	11	Go. 54. u.	
Mittwoch	30	Andreas	11	Herbst. Wetter.	
Tages-länge		Aufgang.		Untergang.	
20	8ff. 16m.	7U.	5 2 m.	4U.	8m.
25	8	7	59	4	1
30	7 48	8	6	3	54

Abbildung 6. Seite für den 16.–30. November im Chur-Brandenburgischen Kalender für 1701

haben, damit die bißhero so häufig im Schwange gewesene, theils unrichtige, theils ärgerliche und mit ungeziemenden Lügen-Historien, nichtigen Weissagungen, auch schandbahnen Gesprächen mehrentheils angefüllte, sonsten aber von einigen der schweren und mühsamen Stern-Rechnung zumahlen unerfahrenen Leuten nur ausgeschriebene Calender, von nun an und allezeit aus Unsern Landen gehalten, hingegen aber an deren statt der Societät richtige, mit nützlichen Astronomischen und andern Materien versehene Calender, welche Unsere Societät mit einem gewissen Kupffer oder Zeichen zu bemerken hat, eingeführt, dabeneben auch das für jene ausgegangene Geld künftig im Lande behalten werden möge; So haben Wir nöthig erachtet, solche Unsere gnädigste Willens-Meynung, und wie Wir es deßhalb weiter gehalten wissen wollen, durch dieses Unser wohlbedachtes Edict jedermännlich bekand zu machen.

Demnach setzen, ordnen und wollen Wir Krafft dieses, daß ausser denen, von obgedachten Unsern ietzigen und künftigen Astronomis und Societät ausgerechneten und verlegten Calendern, von nun an und zu allen künftigen Zeiten, so wenig in Unser Chur-Marck als allen übrigen Unsern Provinzien, Hertzogthümern, Fürstenthümern, Graf- und Herrschafften, auch Städten und Gebieten, wo die auch seyn, keine andere Calender, sie seyn von was Format, Kupfferstich, Druck oder Art sie immer wollen, sie mögen auch gemacht, verlegt oder gedruckt seyn wo sie wollen, weder gedruckt, noch verlegt, noch auch von Unsern Unterthanen oder Fremdbden eingeführt, verkaufft oder geduldet, sondern hierdurch schlechter dings aller Orten, auch auf allen Jahrmärkten verboten und verbannet seyn sollen; dergestalt, daß nicht allein die Buchbinder und andere, welche den Calender-Handel in Unsern Landen, es sey aus Concession und Vergünstigung, oder sonsten bißhero gehabt oder künftig haben werden, keine andere, als der Societät Calender einkauffen und verkauffen sollen; Sondern Wir wollen auch, daß alle andere Unsere Unterthanen, welche derer Calender zu ihrer Haußhaltung benöthiget seynd, gehalten seyn sollen, bloß und

Von den Finsternissen.

Wer Finsternisse geschehen in diesem 1701. Jahre: zwey an der Sonnen und auch so viel am Mond. Wir aber können nur eine davon sehen/ nemlich die am Mond/ welche in der Nacht geschieht/ zwischen den 22. und 23. Februarii/ ist zwischen Dienstag und Mittwoch nach Reminiscere. Der Anfang ist bald nach 11. Uhr/ das Mittel ist eine Viertelstunde/ und drüber/ nach 12. Uhr/ und das Ende um halbweg 2. Sie währet nicht gar dritte halbe Stunden. In der größten Verdunkelung ist der Mond etwan auff die Helffte verfinstert. Wer ein mehrers hiervon zu wissen verlanget/ der kan den grossen Calendar deswegen lesen.

Von Säen und Pflanken.

Die Tage/ welche man bisher in den Calendarum zum Säen und Pflanken vor gut angegeben/ wornach sich der gemeine Mann sehr richtet/ hat man/ diesem zu gefallen/ alhier auch beyfügen wollen/ die sind nun in gegenwärtigem Jahre folgende. Im Fröhlings: Der 1. 3. 5. 11. 14. 15. 16. 17. 18.

Abbildung 7. Erste Seite des Anhangs des Chur-Brandenburgischen Kalenders für 1701

18. 19. 22. 30. 31. Martii. 4. 5. 6. 7. 9. 11. 12. 14. 15. 19. 21. 22. 25. 27. 28. 29. April. 4. 6. 7. 11. 12. 13. 14. 18. 19. 20. 21. 24. 25. 26. 28. 31. May. 1. 6. 8. 9. 10. 11. 15. 23. 24. 25. 30. Junii. Im Herbst: Der 5. 6. 7. 8. 11. 20. 21. 22. 24. 26. 27. 28. 29. Sept. 3. 4. 5. 7. 8. 10. 11. 12. 14. 19. 20. 22. 24. 25. 29. 31. Octob. 1. 2. 3. 5. 12. 14. 15. 16. 18. 23. 25. 28. Novembris. Diese Tage hat man deswegen forme aussen gelassen/ weil man es nicht davor ausgiebt/ daß sie zum Säen und Pflanken besser und tüchtiger seyn als andere. Sondern/ daß sie nach denen bisher gebräuchlichen *Astrologischen* Regeln/ davor gehalten werden.

Vergleichen Gewandniß hat es auch mit denen Tagen/ die man bisher zum Baden und Schröpfen/ Purgieren/ Aberlassen und Arzeneyen vor gut gehalten hat. Diese sind ebenfals/ um gleicher Ursache willen/ forme im Calendar nicht gesetzt worden. Man hat sie aber doch/ nicht allein dem gemeinen Mann zu gefallen/ welcher sich gern darnach richtet/ sondern auch deswegen/ alhier hinten anhängen/ und in denen Calendarum noch beybehalten wollen/ damit sie künfftig auff die Probe gestellet werden können.

können/ und aller Ungrund endlich einmahl durch die Erfahrung abgethan werde. So folgen nun

Die Tage/ welche nach denen alten *Astrologischen* Regeln/ zum Baden/ Schröpfen/ Aberlassen/ Purgieren und Arzeneyen/ in diesem Jahre sonderlich gut seyn sollen.

Der 5. 16. 26. 29. 30. Jan. 3. 12. 15. 25. Febr. 18. 25. 27. 30. Marti. 4. 9. 11. 14. 17. 25. 27. 28. April. 6. 7. 11. 12. 20. 24. 26. May 11. 15. 23. 24. 25. Jun. 1. 10. 18. 26. 31. Jul. 5. 9. 14. 19. 20. 24. Aug. 4. 6. 10. 20. 29. Sept. 3. 4. 12. 25. 29. 30. Octob. 2. 13. 18. 27. 28. Nov. 2. 6. 8. 23. 24. Decembris.

Die Tage/ welche/ nach denen alten *Astrologischen* Regeln/ zum Aberlassen/ Arzeneyen etc. Vor schädlich gehalten werden/ sind folgende: Der 7. 8. 9. 10. 13. 14. Jan. 7. 9. Merz. 2. April. 1. May 3. 4. 5. 17. 18. 19. 21. Jun. 5. 15. Jul. 30. Aug. 12. 13. 16. Sept. 15. 16. 17. Octob. 8. 21. Nov. 4. 12. 17. Dec. auch bey lebzeiten der Tag zuvor und darnach.

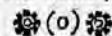


Abbildung 8. Zweite und dritte Seite des Anhangs des Chur-Brandenburgischen Kalenders für 1701

allein von der Societät Calendern zu kauffen und zu gebrauchen. Es wäre dann, das ein oder der ander neben der Societät Calender, auch den so genannten Luttichschen Calender in 12. zu seiner Curiosität zu haben verlangte, welchen zu verschreiben und zu haben hierdurch zwar gestattet wird, es soll aber dennoch keinem erlaubt seyn, dergleichen zu feilen Kauff zu haben noch aufzulegen.

Welcher nun von Unsern Unterthanen, oder von Auswärtigen in Unsern Landen, deme zu wider zu handeln sich unterstehen, oder einen frembden und mit der Societät Zeichen nicht bemerckten Calender bey sich finden lassen wird, derselbe, wann er mit Calendern handelt, sol von jeden frembden Stück ohne Unterscheid Einhundert Rthlr. wann er aber den Calender nur vor sich und zu seiner Nothdurfft eingekauft hat, von jedem Stück Sechs Rthlr. unerläßlicher Straffe, auf beschehene Anzeige, ohne alles Nachsehen, angesichts zu erlegen, nechst Confiscirung der Exemplarien, angehalten werden; Von welcher Straffe $\frac{1}{5}$ dem Denuncianten, dessen Nahme auch nach Möglichkeit verschwiegen zu halten, $\frac{1}{5}$ dem Fiscali so es befordert, $\frac{1}{5}$ dem Richter so es beytreibet, $\frac{1}{5}$ denen Armen des Orts, und endlich $\frac{1}{5}$ der Societät ausgereicht, und darüber richtige Rechnungen jedes Orts gehalten, und alle halbe Jahr der Societät eingesandt werden sollen; Wann aber dergleichen Straffe etwan ohne Zuthun des Fiscalis oder eines Denuncianten eingebracht wird, so soll alsdann derer abgehenden Antheil denen übrigen zu gleichem Theilen zuwachsen.

Damit aber die Buchbinder oder wer sonst Calender verkauft, derer von der Societät verlegten Calender, eben so bequem, wie bißhero derer verbotenen von Nürnberg, Leipzig und andern Orten, habhaft werden mögen: So wird die Societät dahin sehen, daß deren eine gnugsame Anzahl nicht allein in hiesigen Unsern Residentzien, sondern auch in einigen andern Unsern Städten, als Magdeburg, Stargard, Minden und andern Orten, um billigen Preiß, und zu rechter Zeit bey der Hand seyn, damit Unsere Lande aller Orten versorget werden können.

Es wird auch gedachte Unsere Societät, wann auch anderen Orten Observatoria angelegt, und gute Calender publica autoritate verfertigt werden solten, dahin sehen, daß sie deren anschaffe, und mit ihrem Zeichen bemercke, damit hernach ein oder ander Liebhaber, jedoch nach Bezahlung des gedoppelten Preises der andern Calender, damit versehen werden könne. Wegen des besorgenden Unterschleiffs aber, und damit hierdurch die Einführung frembder Calender nicht wieder gemein werde, wollen Wir, daß deren Verkauf der Societät bey obstehender Straffe, gleichfals privativ und sonst niemanden erlaubt seyn solle;

Wir befehlen auch entlichen, nicht allein dem bey der Societät bestellten, und allen übrigen Unsern Hof- und andern Fiscälen in allen Unsern Landen überall, hiermit gnädigst und ernstlich, auf die genaue Beobachtung dieses unsers Edicts ein wachsames Auge zu haben, und keinen Unterschleiff zu gestatten, sondern Wir wollen auch und befehlen hiermit gleichfals in Gnaden, allen Unsern Regierungen, Befehlshabern, Drosten, Amtleuten, Magistraten, Richtern und Obrigkeiten, wie die Nahmen haben mögen, in allen Unsern Landen, über dieses Unser Edict nun und zu allen Zeiten eigentlich und scharff zu halten, denen Denuncianten und Fiscalen schleunige Hülffe und Vorschub ohne Verstattung der geringsten Weitläufftigkeit oder Processe, wiederfahren zu lassen, und die verwürckte Straffe ohne alles Ansehen der Person, Rückfrage und Zeit-Verlust ohnfehlbarlich zu exequiren.

Auf daß aber dieses Unser Edict zu jedermans, so wohl auswärtiger als einländischer Wissenschaft gelange, und hiernechst niemand mit der Unwissenheit sich zu entschuldigen habe, sondern sich ein jeder vor Schaden und ohnfehlbarer Bestrafung hüten möge; So haben Wir dasselbe nicht

nur in öffentlichen Druck bringen lassen, sondern Wir wollen auch, daß es aller Orten in Unserer Chur-Marck und allen übrigen Unsern Provintzien und Landen von denen Cantzeln abgelesen und kund gemacht, auch an nöthigen Orten, sonderlich in denen Städten und Marcktflecken öffentlich angeschlagen werde.

Dessen zu Uhrkund haben Wir dieses Edict eigenhändig unterschrieben, und mit Unsern Churfl. Insiegel bekräftiget; So geschehen Cölln an der Spree, den 10. May Anno 1700.

Friderich.

Graf von Wartenberg.

(L. S.)

Abbildungsnachweise

Abb. 1: Universität Heidelberg, Zentrum für Astronomie, Astronomisches Rechen-Institut

Abb. 2: Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz (abgekürzt GStA PK), I. HA Geheimer Rat, Rep. 9 Allgemeine Verwaltung, K Lit. M III, Fasz. 1, Bl. 51 v

Abb. 3–8: Universität Heidelberg, Zentrum für Astronomie, Astronomisches Rechen-Institut

Literatur

Harnack, Adolf (1900): *Geschichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*. 3 Bände (Band 1 in zwei Hälften). Reichsdruckerei, Berlin. 1091, 660 und 588 S. Im Open Access einsehbar unter der URL: <http://bibliothek.bbaw.de/bibliothek-digital/digitalequellen/schriften> (Punkt B. Monographien zur Geschichte der Akademie bis 1900, 4. HARNACK ...)

Wielen, Roland, und Wielen, Ute (2011a). *Die Archivalien des Astronomischen Rechen-Instituts zum Kalender in Preußen*. Edition der Dokumente. HeiDOK. 228 S. URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/12473>, URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-opus-124737>.

Diese Arbeit wurde elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform HeiDOK der Universität Heidelberg, die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird: HeiDOK – Der Heidelberger Dokumentenserver. Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de>

— (2011b): Supplement zu den Archivalien des Astronomischen Rechen-Instituts zum Kalender in Preußen. Scans der Dokumente. HeiDOK. 101 S. URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/12474>, URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-opus-124741>. Diese Arbeit wurde elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform HeiDOK der Universität Heidelberg, die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird: HeiDOK – Der Heidelberger Dokumentenserver. Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de>.

Die Vermessung des Universums

Die Astronomie befasst sich seit vielen tausend Jahren mit dem gestirnten Himmel über uns. Dieser gibt jedoch zunächst kaum Zugang zu seiner unermesslichen Tiefe. So war die Astronomie für lange Zeit eine zweidimensionale Wissenschaft, zu der die Bestimmung der Stern- und Planetenörter in Form von Sternkarten sowie die Untersuchung der Bewegungen der Sterne und Planeten im Tages- und Jahresverlauf – das Kalender- und Zeitwesen – zählten. Nach wie vor sprechen wir vom Firmament als sei es eine große Kugelfläche, an der die Fixsterne angebracht sind, und vor deren Hintergrund sich Sonne, Mond und Planeten bewegen. Das Kalenderwesen war im späten 17. Jahrhundert eine wesentliche Problematik, denn die protestantischen Staaten folgten noch dem Julianischen Kalender, bei dem Jahrhunderte Schaltjahre sind, während die katholischen Länder dem von Papst Gregor XIII. im Jahre 1582 etablierten und genaueren Gregorianischen Kalender folgten, in dem Jahrhunderte nur dann Schaltjahre sind, wenn sie sich ohne Rest durch 400 teilen lassen. Ende des 17. Jahrhunderts betrug die Differenz nicht nur bereits 10 Tage, das (nicht durch 400 teilbare) Jahr 1700 drohte den Unterschied um einen weiteren Tag zu vergrößern. Da sich zudem das Osterdatum an dem Mondkalender orientiert, konnte dies zu Unterschieden von bis zu fünf Wochen bei der Berechnung des Osterdatums und der darauf beruhenden kirchlichen Feiertage führen. Gottfried Wilhelm Leibniz sah hier eine Möglichkeit, seine Vorstellung einer Brandenburgischen Societät, der Vorgängerinstitution der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, in die Tat umzusetzen. Die Gründung der Akademie im Jahr 1700 war verbunden mit der Etablierung einer Sternwarte sowie der Erteilung eines Kalenderpatents, das der Sternwarte ein Monopol in der Berechnung und dem Vertrieb von Kalendern in den preußischen Territorien verschaffte (Dick und Fritze 2000). Die Erträge des Kalenderpatents waren bis ins 19. Jahrhundert hinein die wesentliche Einnahmequelle der Akademie.

Ein historischer Höhepunkt in der Geschichte der Berliner Sternwarte, eine Vorgängerinstitution des heutigen Leibniz-Instituts für Astrophysik Potsdam (AIP), war die Entdeckung des Planeten Neptun 1846. Diese ist maßgeblich auf das von der Akademie herausgegebene Kartenmaterial von Bremiker zurückzuführen (Encke 1846). Nur damit konnte festgestellt werden, dass (i) sich in der Nähe zu der von Le Verrier berechneten Position in der Tat ein Objekt befand, das in den für Objekte dieser Helligkeit vollständigen Sternenkarte nicht erfasst war, und (ii) sich dieses Objekt im Verhältnis zu den Sternen im Umfeld bewegte.

Erst in den letzten beiden Jahrhunderten begann die Astronomie, sich systematisch der Messung von Entfernungen zu widmen. Dies nahm seinen Anfang mit der Bestimmung der ersten Fixsternparallaxe (siehe unten, Bessel 1838). Erst die Entwicklung der Spektroskopie, also der Zerlegung des Lichts in seine Bestandteile als Methode der Ferndiagnose, und des sich daraus Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelnden neuen Gebiets der Astrophysik, erlaubte es dann, mit

Hilfe der im Labor erprobten physikalischen Gesetze systematisch in immer größere Tiefen des Kosmos vorzudringen.

1 *Wie misst man kosmische Entfernungen?*

Hauptgrund für die Unzugänglichkeit der dritten Dimension unseres Kosmos ist seine schiefe Größe. In der allgemeinverständlichen Literatur werden Entfernungen üblicherweise in Lichtjahren angegeben,¹ also der Entfernung, die das Licht mit seiner Geschwindigkeit von knapp 300 000 km/sec innerhalb eines Jahres zurücklegt. Das uns nächste kosmische Objekt, der 384 000 km entfernte Mond, befindet sich demnach in einem Abstand von 1,3 Lichtsekunden; die 149,6 Millionen km entfernte Sonne im Abstand von gut 8 Lichtminuten; der nächste Stern Proxima Centauri 4,26 Lichtjahre; das Zentrum unserer Milchstraße rund 25 000 Lichtjahre; das am weitesten entfernte, noch mit bloßem Auge beobachtbare Objekt – die Andromedagalaxie – 2,5 Millionen Lichtjahre; die am weitesten entfernten, mit Großteleskopen beobachtbaren Galaxien etwa 13 Milliarden Lichtjahre.

Welche Möglichkeiten haben wir überhaupt, kosmische Entfernungen zu bestimmen? Es gibt eine Vielzahl von Methoden, weit mehr als hier dargestellt werden können. De facto wird jede physikalische oder astrophysikalisch festgestellte Gesetzmäßigkeit benutzt, Entfernungen zu bestimmen (für einen Überblick, siehe Weigert, Wendker und Wisotzki, 2010). Die verschiedenen Methoden lassen sich jedoch in vier Klassen unterteilen:

- (1) direkte Methoden
- (2) Parallaxen
- (3) Standardkerzen
- (4) Standardzollstöcke

Zu den *direkten Methoden* muss hier nicht viel gesagt werden, sie sind aus der Alltagserfahrung bekannt. Beispiele sind das Metermaß oder die Lichtlaufzeit, wie sie auch in laserbasierten Entfernungsmessern benutzt wird. Ihre Anwendung bleibt jedoch auf das Irdische sowie den nahen Weltraum beschränkt. Die weiteste, direkt gemessene Entfernung ist die Lichtlaufzeit zu der am 20. August 1977 gestarteten Raumsonde Voyager 2, die sich derzeit im Abstand von 15 Lichtstunden (oder 16,2 Milliarden km) befindet. Sie hat 2007 unser Sonnensystem verlassen und befindet sich nun im interstellaren Raum.

Die fundamentale Messmethode für Entfernungen in der Astronomie ist die sogenannte *Parallaxe*. Auf Grund der Bewegung der Erde um die Sonne verschiebt sich die Position eines nahen Sterns im Verhältnis zu den weiter entfernten Hintergrundsternen (siehe Abb. 1). Dieser Effekt ist auch für nahe Sterne sehr klein, aber messbar. So beschreibt ein Stern in einer Entfernung von 3,26 Lichtjahren (1 Parsec) am Himmel eine Ellipsenbahn mit dem Durchmesser von 1'' (eine Bogensekunde oder $\frac{1}{3600}$ eines Grades).

Größere Entfernungen im Kosmos werden dann mit Hilfe von sogenannten *Standardkerzen* ausgelotet. Darunter verstehen wir Objekte, deren absolute Helligkeit wir auf Grund von physikalischen Gesetzmäßigkeiten kennen oder zumindest einschränken können. Da die Helligkeit eines Objekts quadratisch mit seinem Abstand abnimmt, können wir durch den

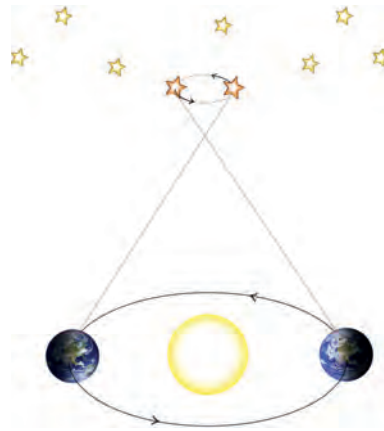


Abbildung 1. Parallaxe eines Vordergrundsterns vor den Hintergrundsternen, erzeugt durch die Bewegung der Erde um die Sonne

Vergleich der absoluten Helligkeit mit der gemessenen scheinbaren Helligkeit auf die Entfernung schließen. Das zugrundeliegende Prinzip verwenden wir intuitiv auch im täglichen Leben, z. B. wenn wir des Nachts auf einer Landstraße die Entfernung eines entgegenkommenden Wagens auf Grund der Helligkeit seiner Scheinwerfer abschätzen.

Eine ähnliche Methode ist die der *Standardzollstöcke*, nur dass hier anstatt des Vergleichs von absoluter und scheinbarer Helligkeit eines Objekts die Größe eines Objekts bekannten Ausmaßes herangezogen wird. Auch hier können wir auf die Erfahrung im täglichen Leben verweisen: weit entfernte Objekte erscheinen kleiner als nahe.

2 Die kosmische Entfernungsleiter

Die systematische Vermessung unseres Kosmos geschieht folglich über eine Sammlung verschiedener Entfernungsindikatoren. Jeder für sich ist über einen gewissen Entfernungsbereich anwendbar. Durch Überlappungen in den Grenzbereichen ist es möglich, die verschiedenen Indikatoren zu kalibrieren (siehe Abb. 2). Man spricht auch von der „kosmischen Entfernungsleiter“, deren verschiedene Sprossen hier vorgestellt werden sollen:

- (1) Am Beginn der Entfernungsleiter steht zunächst die Bestimmung der Größe unserer Erde durch direkte Methoden. Die Ermittlung der Entfernung zur Sonne und zu den anderen Planeten des Sonnensystems erfolgt dann über Parallaxen (mit dem Erddurchmesser als Basislänge) und Lichtlaufzeiten (Radarechos).
- (2) Die nächste Sprosse der Entfernungsleiter stellt die Messung der Parallaxen von nahen Sternen dar. Für diese dient nun die Umlaufbahn der Erde um die Sonne als Basislänge. Diese Messungen gelingen derzeit bis zu Entfernungen von wenigen hundert Lichtjahren. In naher Zukunft wird aber der Gaia-Satellit auf Grund präziserer Positionsbestimmungen erlauben, diese Methode zu deutlich größeren Entfernungen zu erweitern (Prusti 2012).



Lichtlaufzeiten *Abbildung 2. Die kosmische Entfernungsleiter*

- (3) Anhand parallaktischer Messung von Sternhaufen wie den Plejaden, also Ansammlungen von Objekten gleicher Entfernung, gleichen Alters und gleicher chemischer Komposition, können dann Gesetzmäßigkeiten für die Leuchtkräfte der Sterne in diesen Sternhaufen abgeleitet werden (z. B. die Leuchtkraft der hellsten Sterne). Mittels dieser Sterne lassen sich dann auch die äußeren Bereiche unserer Milchstraße vermessen. Insbesondere erhalten wir aber Zugang zu den sogenannten Zepheidensternen.
- (4) Zepheidensterne (nach dem Stern δ Cephei als Prototyp dieser Sternenart) gehören zu der Klasse der veränderlichen Sterne. Dabei zeigen sie eine erstaunliche Gesetzmäßigkeit zwischen der Periode ihrer Helligkeitsschwankungen und ihrer intrinsischen Leuchtkraft (siehe Abb. 3, Leavitt und Pickering, 1912). Der Mechanismus dahinter ist gut verstanden: eine thermodynamische Schwingung zwischen zwei metastabilen Zuständen, oft verglichen mit dem Klappern eines Deckels auf einem Topf mit kochendem Wasser. Durch eine einfache Zeitreihe, also der Messung der Sternhelligkeit über mehrere Tage oder Wochen kann so

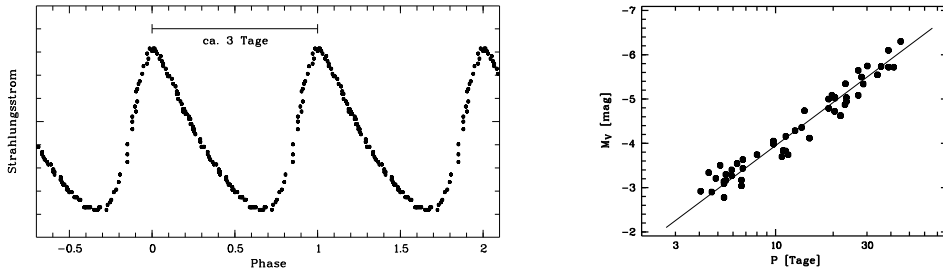


Abbildung 3. Links: Helligkeitsverlauf mit der Zeit des Zepheidensterns δ Cephei. Rechts: Periode-Helligkeits-Relation für klassische Zepheidensterne in der Scheibe der Milchstraße

die Helligkeit des Zepheidensterns und über die Perioden-Helligkeits-Beziehung seine Entfernung bestimmt werden. Zudem sind Zepheidensterne sehr hell und können somit auch in benachbarten Galaxien bis hin zum Virgo-Galaxienhaufen beobachtet werden, d. h., wir erhalten einen Maßstab für extragalaktische Distanzen (siehe Abb. 4).



Abbildung 4. Zepheidenstern V1 in unserer Nachbargalaxie M31 (Andromedanebel), aufgenommen mit dem Hubble-Weltraumteleskop

- (5) Mittels der Zepheidendistanzen können wir die Entfernung zu einer Zahl von Galaxien messen. Viele dieser Galaxien ähneln auch der Form nach unserer Milchstraße, einer gewaltigen Scheibe mit einigen Zehntausend Lichtjahren Durchmesser, die mit einigen 100 km/s um ihre Achse rotiert. Dabei zeigen auch Galaxien eine erstaunliche Gesetzmäßigkeit: die Leuchtkraft skaliert mit der vierten Potenz der Rotationsgeschwindigkeit. Dieser Zusammenhang wird nach seinen Entdeckern auch als Tully-Fisher-Beziehung bezeichnet (Tully und Fisher 1977). Die Rotationsgeschwindigkeit ist wiederum durch die sogenannte Dopplerverschiebung spektroskopisch vergleichsweise einfach zu bestimmen: Bewegt sich die eine Seite der Galaxie von uns weg, ist das Licht rotverschoben. Die Bewegung der anderen Seite auf uns zu resultiert in einer Blauverschiebung. Mit der Tully-Fisher-Beziehung sind Entfernungsmessungen von einigen hundert Millionen Lichtjahren möglich. Die Grenzen sind dabei eher systematischer Art, denn es werden nunmehr kosmologische Entfernungen vermessen und der Kosmos entwickelt sich sowohl als Ganzes, als auch seine einzelnen Bestandteile – die Galaxien. Es ist nach wie vor ein Forschungsgegenstand, wie sich die Tully-Fisher-Beziehung gegebenenfalls systematisch mit dem Alter des Kosmos bzw. der Galaxien ändert.
- (6) Eine zweite, auf kosmologischen Skalen anwendbare Standardkerze sind die Supernovae vom Typ Ia (für einen Überblick siehe Perlmutter 2003). Diese spezielle Klasse von Supernovae sind thermonukleare Explosionen von Sternüberresten, sogenannten Weißen Zwergsternen. Diese sind Objekte mit einer Masse vergleichbar mit unserer Sonne, aber zusammengepresst in ein viel kleineres Volumen, vergleichbar mit dem unserer Erde. Die Materie in solchen Sternen ist so stark kondensiert, dass sie die physikalische Grenze, gegeben durch die Gesetze der Quantenmechanik, insbesondere das sogenannte Pauli-Prinzip, erreichen. Jenseits der sogenannten Chandrasekhar-Masse von 1,4 Sonnenmassen gibt es keinen stabilen Gleichgewichtszustand. In einer thermonuklearen Explosion wird diese Masse von Kohlenstoff in Nickel fusioniert. Damit sind die Menge des vorhandenen „Brennstoffs“ wie auch die in der Reaktion freigesetzte Energie bekannt. Alle Typ Ia-Supernovae haben folglich eine vergleichbare, bekannte Helligkeit, können also als Standardkerze benutzt werden. Zudem sind die freigesetzten Energiemengen gewaltig – für einige Tage leuchten sie mit einer Helligkeit vergleichbar mit der Leuchtkraft ganzer Galaxien – und können somit auch über weiteste kosmische Entfernungen nachgewiesen werden.
- (7) Die letzte Stufe der kosmischen Entfernungsleiter ist der Urknall selbst. Die frühe, heiße Phase des Kosmos hat eine gleichförmige thermische Strahlung hinterlassen, die heute im Mikrowellenbereich entsprechend einer Temperatur von 2,7 K nachgewiesen werden kann. Überlagert sind kleine Temperaturschwankungen erzeugt durch Schallwellen im frühen Kosmos (siehe Abb. 5). Die Schallgeschwindigkeit des heißen Plasmas ist mit Hilfe der Gesetze der Thermodynamik bestimmbar. Ebenso bekannt ist die Schalllaufzeit, gegeben durch das Alter des Universums zu dem Zeitpunkt, als das frühe heiße Universum durchsichtig wurde und die Strahlung sich von den kosmischen Atomen abkoppelte. Die typische Größe der Flecken auf der Karte der kosmischen Hintergrundstrahlung, wie sie z. B. von dem ESA-Satelliten Planck erfasst wurde, beträgt ein halbes Grad. Sie entspricht der Grundmode der akustischen Schwingungen im frühen Kosmos und ist vergleichbar mit dem Grundton der Saite einer Geige. Die Wellenlänge dieses Grundtons ist ermittelbar und mit Hilfe dieses Standardzollstocks lässt sich schließlich die Raumkrümmung des Kosmos vermessen.

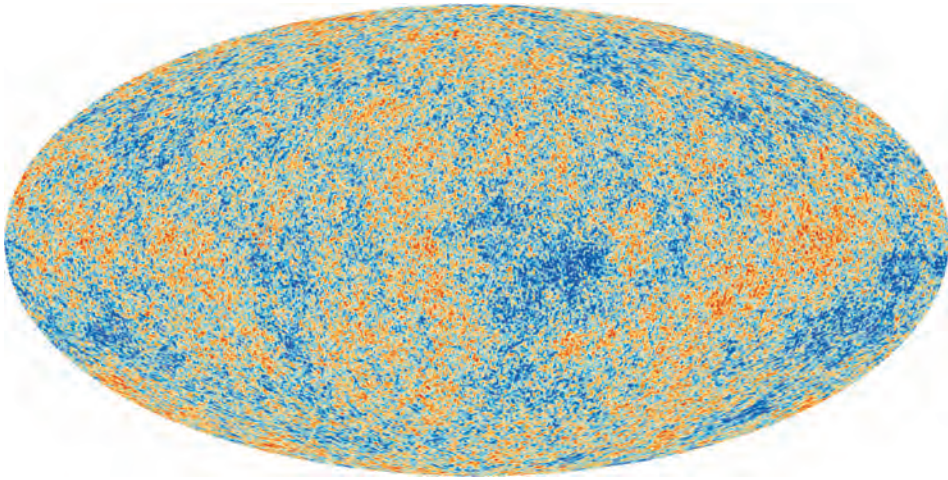


Abbildung 5. Temperaturkarte der kosmischen Hintergrundstrahlung, wie sie vom Planck-Satelliten aufgenommen wurde (ESA and the Planck Collaboration). Die mittlere Temperatur beträgt 2,73 K, die roten Flecken sind $1/100\,000$ K heißer, die blauen Gebiete $1/100\,000$ K kälter.

3 Die Größe der „Welt“

Die obige Aufstellung der Entfernungskindikatoren zeigt, in welchem Maß unser Verständnis physikalischer Prozesse mit unserem Bild über der Art und Beschaffenheit des Kosmos verknüpft ist. Waren es zunächst noch primär geometrische Überlegungen, mit denen der Kosmos ausgelotet wurde, so wurden seine Weiten doch erst mit der modernen Physik, insbesondere mit Strahlungsgesetzen, Atom- und Kernphysik sowie der allgemeinen Relativitätstheorie, erfass- und begreifbar. Entsprechend änderte sich auch der Begriff „Welt“ von unserer Erde über das Sonnensystem bis hin zur Milchstraße, zu anderen Galaxien und, last but not least, zum expandierenden Kosmos. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über wesentliche „Horizontenerweiterungen“ und die zugrundeliegenden physikalischen Prinzipien gegeben werden.

Dass die Erde und auch der Mond von Kugelgestalt sind, ist eine Erkenntnis, die bereits Pythagoras im 5. vorchristlichen Jahrhundert bekannt war, auch wenn sie sich erst 200 Jahre später mit Aristoteles endgültig durchsetzte (für einen Überblick siehe Lovell 1983 oder Weinberg 2015). Für die Erde beruht sie auf der bekannten Beobachtung, dass man bei einem in den Hafen einlaufenden Schiff zuerst den Mast sieht, dann das Deck, bis es schließlich in Gänze sichtbar ist. Ein weiteres Indiz ist die bei Mondfinsternissen beobachtbare Form des Erdschattens, wie bereits um 450 v. Chr. von Anaxagoras bemerkt. Die Form der Schattenlinie auf dem Mond führte Pythagoras zu dem Schluss, dass auch der Mond Kugelgestalt haben sollte. Eratosthenes von Samos nutzte um 200 v. Chr. den Bericht, dass im 5000 Stadien entfernten Syene (das heutige Assuan) zur Sommersonnenwende das Sonnenlicht bis auf den Boden eines tiefen Brunnens vordringen kann – die Sonne also im Zenit steht – während sie sich in Alexandria dem Zenit nur bis auf 7 Grad nähert, zu der Berechnung, dass dann der Erdumfang $360/7 = 51$ mal größer sein

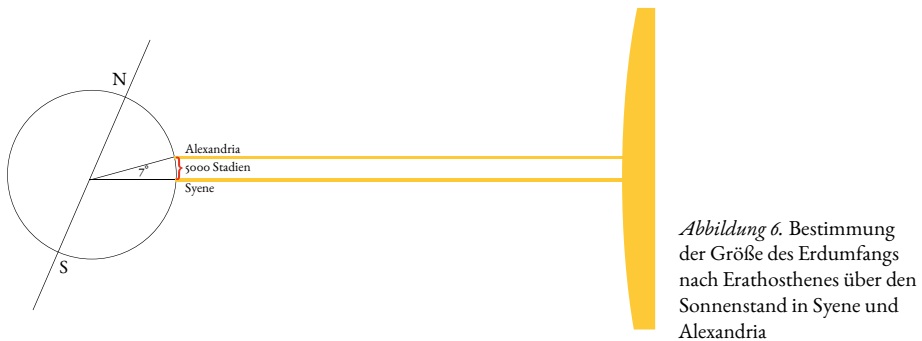


Abbildung 6. Bestimmung der Größe des Erdumfangs nach Eratosthenes über den Sonnenstand in Syene und Alexandria

müsse als der Abstand von Syene nach Alexandria (siehe Abb. 6). Daraus ergab sich mit hoher Genauigkeit ein Erdumfang von 40 000 km in heutigen Einheiten. Die Größe der Welt im Sinne unserer Erdkugel war also bereits vor mehr als 2000 Jahren bekannt!

Nahezu zeitgleich mit Eratosthenes konnte der Geometer Aristarch von Samos erstmals die Größenverhältnisse des Sonnensystems erfassen. Dies geschah mittels der beiden folgenden Beobachtungen: Die Zeitdauer von totalen Mondfinsternissen zeigt, dass der Erdschatten etwa dreimal größer ist als der Monddurchmesser (korrekter Wert: 3,46). Aus der gut messbaren Winkelgröße des Mondes von einem halben Grad ist somit auch der Mondabstand zumindest relativ zum Erddurchmesser bekannt. Die zweite kritische Beobachtung ist die Konstellation von Erde, Mond und Sonne zur Phase des Halbmondes – die drei Himmelskörper bilden ein rechtwinkliges Dreieck mit dem rechten Winkel beim Mond (siehe Abb. 7). Die Messung der Winkeldistanz zwischen Mond und Sonne erlaubt es, mittels elementarer Geometrie den Sonnenabstand relativ zum Mondabstand zu bestimmen. Auch wenn die Messung von Aristarch erhebliche systematische Fehler aufwies – er bestimmte den Winkel zwischen Sonne und Halbmond zu 87° , der korrekte Wert ist $89,5^\circ$ – so sind die daraus gezogenen Schlussfolgerungen bahnbrechend: die Sonne ist neunzehnmal weiter entfernt als der Mond (korrekter Wert 390 mal) und da sie beide am Himmel gleichgroß erscheinen, muss folglich die Sonne 19 mal größer sein als der Mond – oder sechsmal größer als die Erde! Abgesehen davon, dass erstmals die immensen

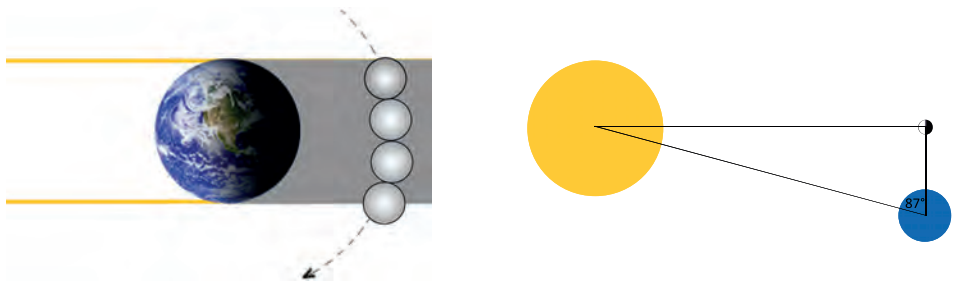


Abbildung 7. Links: Messung der relativen Mondgröße mittels einer Mondfinsternis; Rechts: Bestimmung des relativen Sonnenabstands nach Aristarch

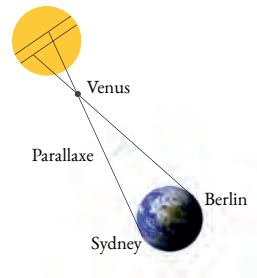


Abbildung 8. Bestimmung der Sonnenparallaxe und damit der Sonnenentfernung durch Messung des Venus-Transits an zwei verschiedenen Orten

Dimensionen des Kosmos erkennbar wurden, schloss Aristarch auch, 1700 Jahre vor Kopernikus, dass es widersinnig sei anzunehmen, die Sonne umkreise die deutlich kleinere Erde. Stattdessen stellte er die Sonne ins Zentrum des Kosmos. Auch wenn die Aristarchschen Werte zu den Größenverhältnissen im Sonnensystem bis in die Neuzeit benutzt wurden, so konnte sich das heliozentrische Weltbild selbst nicht durchsetzen. Wesentlich war hierfür, dass mit der Bewegung der Erde um die Sonne auch eine Fixsternparallaxe folgen musste. Eine solche konnte aber auch der beste Astronom der Antike, Hipparchos von Nicäa, nicht messen. Dieselben Gründe brachten auch noch 1700 Jahre später Tycho Brahe dazu, das heliozentrische Weltbild abzulehnen und sein eigenes vorzuschlagen, in dem die Planeten zwar die Sonne, letztere aber zusammen mit den Planeten die Erde umkreisen.

Im 17. und 18. Jahrhundert näherte sich der Wert für den Abstand der Erde zur Sonne dem heute bekannten an. Johannes Kepler vermutete bereits, dass die Sonne mindestens dreimal weiter entfernt sein müsse, als von Aristarch gemessen, da er ansonsten über den Parallaxeneffekt Positionsänderungen des Mars in den Aufzeichnungen von Tycho Brahe hätte finden müssen. Berühmt sind die Expeditionen in die Südsee 1761 und 1769, um die seltenen Durchgänge der Venus vor der Sonnenscheibe zu beobachten. Durch den Vergleich der Venusbahn, wie sie in Europa gemessen wurde, mit denen von der südlichen Halbkugel (siehe Abb. 8) ergab sich bald eine Sonnendistanz von rund 150 Millionen km, was im Wesentlichen dem heutigen Wert entspricht. Nach wie vor nicht messbar blieb jedoch die Parallaxe der Fixsterne, aber auch die Nicht-Messung war auf Grund der hohen Messgenauigkeit hinreichend, um festzustellen, dass die Fixsterne viele tausendmal weiter entfernt sein müssen als der Sonne–Erdbstand. Eine unmittelbare Konsequenz ist, dass bei solch großen Abständen die Fixsterne Helligkeiten haben müssen, die denen der Sonne vergleichbar sind. Sterne sind folglich andere Sonnen oder gar Sonnensysteme mit eigenen Planeten – so wie schon im 16. Jahrhundert von Giordano Bruno vermutet. Diese Schlussfolgerungen bestätigten sich schließlich mit der tatsächlichen Bestimmung der Parallaxe des Sterns 61 Cygni durch Bessel im Jahr 1838 (Bessel 1838).

Mit der Erkenntnis der gewaltigen Abstände zwischen den Sternen richtete sich im 18. Jahrhundert die Aufmerksamkeit auf Form und Gestalt der Milchstraße. Thomas Wright und Immanuel Kant argwöhnten um 1750, dass die Milchstraße eine abgeflachte Scheibe von endlichem Ausmaß sei, in deren Zentrum die Sonne stehe. William Herschel, den man wohl als Erfinder des astronomischen Großteleskops bezeichnen kann, widmete sich um 1790 dieser These durch systematische Sternzählungen. Wie wir heute wissen, führte er seine Zählungen unter der falschen,

mangels begründeter Alternativen aber nachvollziehbaren Annahme durch, dass alle Sterne gleich hell seien. Seine Messungen bestätigten die von Kant und Wright vermutete abgeflachte Struktur mit einem Seitenverhältnis von 4 : 1. Thomas Wright vertrat auch die Ansicht, dass die insbesondere von Charles Messier mit dem Fernrohr in zunehmender Zahl entdeckten Nebel nichts anderes seien als andere Sternensysteme, vergleichbar denen der Milchstraße. Andere sahen dagegen in den Nebeln vielmehr Objekte in unserer Milchstraße. Es sollte noch mehr als 150 Jahre dauern, bis auf diese Frage eine Lösung gefunden wurde.

In der Tat herrschte in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ein gewisser Totpunkt. Es war unklar, wie die Entwicklung in der Erforschung von Sternen und anderen entfernten Objekten weitergehen sollte, da außer der Entfernungsmessung mittels Parallaxe für ein paar wenige Objekte kein anderer Zugang bestand. 1835 schrieb etwa der französische Philosoph Auguste Comte „Wir können uns Möglichkeiten vorstellen, ihre Form, Größe und Bewegungen zu bestimmen, niemals aber werden wir – auf welche Art auch immer – die Möglichkeit haben, ihre chemische Komposition zu bestimmen“. 24 Jahre später wurde diese Mutmaßung widerlegt durch die Methode der Spektralanalyse von Kirchhoff und Bunsen. Sie erlaubte es, aus den Spektren heißer Gase, die auf der Quantisierung beruhenden charakteristischen Linien verschiedener Elemente zu messen und somit die chemische Zusammensetzung zu bestimmen. Die Anwendung im Bereich der Astronomie erfolgte umgehend: 1863 zeigte Huggins in England, dass die Sonne aus denselben chemischen Elementen besteht wie die Erde. Der Begriff der „Astrophysik“ wurde geprägt. 1865 wurde der erste Lehrstuhl für „physikalische Astronomie“ in Leipzig eingerichtet. 1868 beobachtete Jule Janssen während einer Sonnenfinsternis in Indien in der Sonnenkorona das bis dato unbekannte chemische Element „Helium“, kurz darauf bestätigte Norman Lockyer auch direkt im Spektrum der Sonne diese Messung. Auf der Erde wurde Helium erst fast 14 Jahre später in den Ausgasungen von Vulkanen nachgewiesen. 1874 erfolgte schließlich in Potsdam die Gründung des „astrophysikalischen Observatoriums“, einer Einrichtung, die sich ausschließlich diesem neuen Forschungszweig widmen sollte. Mit den neuen Erkenntnissen zu den Strahlungsgesetzen, zur Atomphysik und schließlich zur Kernphysik ließen sich in der Folge die Sterne bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften charakterisieren und eine umfassende Theorie zum Aufbau und zu der Entwicklung von Sternen entwickeln.

Mit diesem Handwerkzeug konnte sich die Astronomie wieder den Fragen widmen, die schon Thomas Wright und William Herschel beschäftigt hatten: Wie groß ist die Milchstraße? Wo ist der Platz der Sonne in ihr? Und was sind die Spiralnebel? Sind es Objekte in unserer Milchstraße oder extragalaktische Systeme vergleichbar unserer Galaxis? Mit der Beantwortung dieser Fragen sollten dann auch Alter und Größe des Kosmos in den Fokus rücken. Zunächst jedoch entstanden eine veritable Diskrepanz und Debatte, auf deren einen Seite Herber Curtis, auf der anderen Harlow Shapley standen. Dieser auch als „die große Debatte“ oder Shapley–Curtis-Debatte bekannte Disput fand am 26. April 1920 im Baird-Auditorium des National Museum of Natural History in Washington statt (Shapley und Curtis 1920). Curtis vertrat darin die Auffassung, dass die Milchstraße nur einige zehntausend Lichtjahre groß sei, also etwa ein Fünftel des heute bestimmten Werts, mit der Sonne nahe ihres Zentrums. Die Spiralnebel sah er als andere Milchstraßensysteme an. Seine Sicht beruhte maßgeblich auch auf Arbeiten von Jacobus Kapteyn in Groningen, der wie einst Herschel Sterne in der Ebene unserer Milchstraße vermaß (Kapteyn 1922). Dank der Erkenntnisse der Astrophysik musste er aber nicht mehr

davon ausgehen, dass alle Sterne gleich hell sind. Das Ergebnis von Kapteyn war aber quantitativ vergleichbar mit dem von Herschel. Shapley hingegen nutzte Kugelsternhaufen, also dichte Ansammlungen von mehreren Millionen Sternen, die wir in den Außenbereichen von Galaxien finden. Aufgrund der asymmetrischen Verteilung der Kugelsternhaufen kam er zu dem Schluss, dass die Sonne 60 000 Lichtjahre außerhalb des Zentrums der Milchstraße stehe und damit sozusagen die Vervollkommenung des kopernikanischen Prinzips darstelle, das nun auch unsere Sonne aus dem Zentrum des Kosmos herausrückte. Für die Größe der Milchstraße selbst kam er auf ein Mehrfaches des heutigen Wertes, und nicht zuletzt aufgrund dieser Größe und der Entfernungsschätzung zu unserer Nachbargalaxie, der Andromedagalaxie, mit Hilfe der Helligkeit einer dort 1885 entdeckten Nova, lag für ihn der Schluss nahe, dass die Spiralnebel Teil unserer Milchstraße sind, und die Milchstraße selbst dem gesamten Kosmos entspricht.

Letztendlich hatten sowohl Curtis (bzw. Kapteyn) wie auch Shapley manche Teilaspekte richtig erkannt, andere nicht. Die Frage nach der Natur der Spiralnebel wurde wenige Jahre später von Edwin Hubble geklärt, indem er mit dem 2,5 m-Großteleskop auf dem Mount Wilson, Zepheidensterne in der Andromedagalaxie identifizieren und somit ihre Entfernung bestimmen konnte (für eine Übersicht siehe Hubble 1936). Die extragalaktische Natur der Andromedagalaxie war nun außer Zweifel,² zumal es sich später zeigte, dass das 1885 in der Andromedagalaxie beobachtete Ereignis keine Nova, sondern eine intrinsisch sehr viel hellere Supernova war. Was erklärte aber die signifikanten Unterschiede in der Größenbestimmung unserer Milchstraße? Es ist der interstellare Staub. Innerhalb der Scheibe der Milchstraße, also dort wo Herschel und Kapteyn ihre Messungen vornahmen, beschränkt dieser Staub die Entfernung, bis zu der wir stellare Objekte sehen können – vergleichbar etwa mit der beschränkten Sichtweite in Deutschland an einem nebligen Novembertag. Und da man dann in alle Richtungen gleich weit sehen kann, kommt man fast zwangsläufig zu dem Schluss, dass die Sonne im Zentrum steht. Shapley hingegen widmete sich den Kugelsternhaufen, beobachtete also senkrecht zur Scheibe unserer Milchstraße. Auch seine Messungen waren durch die interstellare Absorption verfälscht, allerdings führt die Extinktion nicht wie in der Scheibe zu einer kompletten Absorption dieser Objekte, sondern nur zu einer Helligkeitsreduzierung. Ohne eine angemessene Korrektur der interstellaren Extinktion erscheinen diese Objekte also weiter entfernt zu sein als sie es tatsächlich sind – woraus die Überschätzung der Größe unserer Milchstraße durch Shapley resultierte: die Sonne ist zwar deutlich außerhalb des galaktischen Zentrums, der Abstand beträgt aber „nur“ 26 000 Lichtjahre.

Es war auch Edwin Hubble, der wenige Jahre später der Kosmologie zu einem weiteren Meilenstein verhalf (Hubble 1929). Bereits in den ersten von Slypher 1917 publizierten Messungen der Dopplerverschiebung von Galaxien zeigte sich, dass das Licht der meisten Galaxien rotverschoben ist – sich diese also von uns entfernen. Nur wenige bewegen sich auf uns zu, sind also blauverschoben. Edwin Hubble konnte nun zeigen, dass diese Rotverschiebung systematisch mit der Entfernung der Galaxien wuchs (siehe Abb. 9). Je weiter eine Galaxie von uns entfernt ist, desto schneller bewegt sie sich von uns weg, und dieser Zusammenhang ist linear, wie bei einer zentrischen Streckung. Diese Beobachtungen bestätigten unmittelbar die Hypothese von Friedmann und Lemaitre, die gezeigt hatten, dass nur ein sich ausdehnendes Universum eine Lösung der von Einstein 1915 publizierten Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie darstellt. Die Konsequenz eines solchen Modells war jedoch dramatisch, führt sie doch praktisch

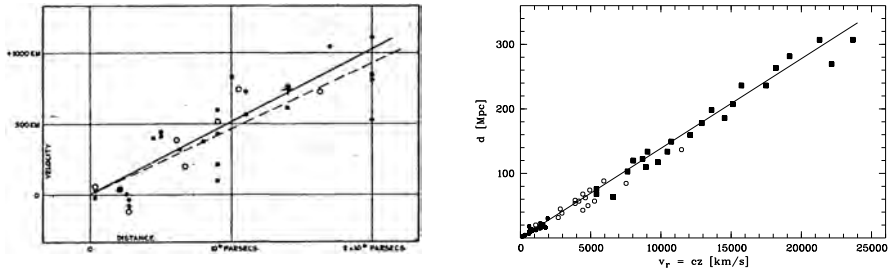


Abbildung 9. Expansion des Universums, auch als Hubblesches Gesetz bezeichnet. Links: Hubbles Messung von 1929 (PNAS 14, 3 [1929]), Rechts: Supernova-basierte Messungen (Stand 2010)

zwangsläufig dazu, dass das Universum irgendwann in einem singulären Zustand begann. Dieses Erkenntnis war zu Beginn hochumstritten. In der Tat wurde der Begriff „Urknall“, mit dem wir nach wie vor diese Theorie bezeichnen, vom britischen Astrophysiker Fred Hoyle 1949 in einer Radioshow geprägt, um die vermeintliche Absurdität dieses Vorschlags zu untermauern, so zumindest der Vorwurf einiger Zeitgenossen. In der Tat gab es seinerzeit wohlbegründete Kritik an diesem Modell: Mit der von Hubble gemessenen Ausdehnungsrate, die fast eine Größenordnung höher ist als der heute gemessene Wert, wäre das Universum jünger als das von den Geologen bestimmte Erdalter!

Die Lösung dieser Diskrepanz gelang Walter Baade und wurde von ihm 1952 auf der Generalversammlung der Internationalen Astronomischen Union in Rom vorgestellt (Baade 1956). Walter Baade war in den 1940ern Direktor des Mt. Wilson Observatory in Kalifornien und stand als deutscher Staatsbürger dort während der Kriegsjahre de facto unter Hausarrest. Da gleichzeitig in Los Angeles Verdunklung verordnet war, konnte er mit dem größten Teleskop unter nahezu idealen Bedingungen praktisch exklusiv³ beobachten. Ihm gelang es, den Andromedanebel bis ins Zentrum hinein photographisch in Einzelsterne aufzulösen und die Existenz von zwei Sternpopulationen nachzuweisen, metallarme⁴ alte Sterne in den Außenbereichen (Population II) sowie metallreichere jüngere Sterne in der Scheibe von Spiralgalaxien (Population I). Folgebeobachtungen mit dem neuen Fünf-Meter-Teleskop auf dem Mt. Palomar zeigten, dass die Relation zwischen Periode und Leuchtkraft von der Metallhäufigkeit des Sterns abhängt. Die zepheidenartigen metallarmen alten Sterne (sogenannte Typ II Cepheiden) in den Außenbereichen einer Galaxie haben eine andere Perioden-Leuchtkraft-Beziehung als metallreichere klassische Zepheiden in der galaktischen Scheibe. Mit der korrekten Klassifikation musste somit die Entfernung zur Andromedagalaxie verdoppelt werden und damit auch die Distanzskala des Kosmos und das Alter des Universums (zur aktuellen Bestimmung der Hubble-Konstante mit Zepheiden siehe z. B. Freedman und Madore 2010).

Mit der Entdeckung der von Gamov in den 1940ern vorhergesagten kosmischen Hintergrundstrahlung durch Penzias und Wilson (1965) hat sich das Urknallmodell als Standardmodell der Kosmologie fest etabliert. Es galt nun, mittels neuer Standardkerzen, dem Tully-Fisher Gesetz oder den Supernovae festzustellen, ob das Universum sich früher (also bei großen Distanzen)

schneller ausdehnte als heute. Denn die Stärke der Abbremsung bestimmt, ob sich das Universum immer weiter ausdehnen wird oder ob es auf Grund seiner eigenen Schwerkraft zum Halten kommt und danach wieder in sich zusammenfällt. Daran, dass das Universum sich nur abbremsen könne, bestand aber auf Grund der grundlegend anziehenden Natur der Gravitation wenig Zweifel. Um so überraschender war dann die Feststellung von zwei unabhängig voneinander arbeitenden Forschergruppen, dass die Ausdehnung des Universums sich eben nicht verlangsamt, sondern beschleunigt (Riess et al. 1998, Perlmutter et al. 1999) – ein Effekt, der sich nur erklären lässt, wenn das Vakuum mit einer positiven Energie behaftet ist. Diese „dunkle Energie“ ist ein fundamentales Rätsel des physikalischen Standardmodells, und ihr Ursprung oder ihre Natur sind bis heute unverstanden.

4 *Ausblick: Präzessionsmessungen mit dem Gaia-Satelliten*

Die Bestimmung der extragalaktischen Entfernungsskala ist weiterhin ein aktives Forschungsgebiet. Nach wie vor sind die systematischen Effekte und die gegenseitige Kalibrierung der indirekten Entfernungsindikatoren mit Unsicherheiten behaftet. Als Beispiel sei die erste Sprosse der Entfernungsleiter genannt, die Kalibrierung der Distanz zu den Plejaden. Deren Entfernung kann mit zwei direkten Methoden bestimmt werden. Allerdings unterscheidet sich die mit dem Hipparcos-Satelliten gefundene Parallaxendistanz von 410 Lichtjahren signifikant von der mit über der Erdkugel verteilten Radioteleskopen interferometrisch gefundenen Distanz von 444 Lichtjahren. Der Unterschied beider Messungen ist deutlich größer als die gegebene Genauigkeit von jeweils ca. 3,5 Lichtjahren.

Mit dem 1989 gestarteten Hipparcos-Satelliten konnte erstmals die Entfernungen zu 100 000 Objekten in der Sonnenumgebung direkt und systematisch vermessen werden. Die erreichte Genauigkeit betrug bis zu einer halben Millibogensekunde (das 7,2 Millionstel eines Grades). Am 19. Dezember 2013 wurde der Gaia-Satellit der ESA gestartet, der im Sommer 2014 sein Wissenschaftsprogramm aufgenommen hat (Prusti 2012). Im Zentrum steht die Vermessung von bis zu einer Milliarde Objekten in der Milchstraße. Die erreichte Genauigkeit von 10 Mikrobogensekunden – dies entspricht dem Winkel, den eine 1-Cent-Münze auf die Entfernung des Mondes aufspannt – erlaubt es, wesentliche Entfernungsindikatoren wie den Abstand zu einigen tausend Zepheiden-Sternen absolut zu kalibrieren. Ja selbst die Bewegung von Sternen wird messbar, die Fixsterne sind nicht mehr fix! Bewegungen von 20 Mikrobogensekunden pro Jahr werden nachweisbar – das entspricht dem Wachstum des menschlichen Haars, gesehen auf die Entfernung des Mondes! Die nächste Generation von Großteleskopen erlaubt es dann, einzelne Sterne bis hin zu Entfernungen des Coma-Galaxienhaufens zu erfassen. Damit wird die Astronomie auch in der 3. Dimension zur Präzisionswissenschaft.

Anmerkungen

1. In der Fachliteratur wird hingegen das auf Parallaxenmessungen (siehe unten) beruhende Maß des „Parsec“ (pc) verwendet, 1 pc entspricht 3,26 Lichtjahren.
2. Hubble selbst vermied aber bis ans Ende seines Lebens den Begriff Galaxie in wissenschaftlichen Publikationen, sondern sprach immer von Nebulae.

3. Der Großteil seiner Kollegen an der Sternwarte war in die Militärforschung abgestellt.
4. Astrophysiker bezeichnen gemeinhin alle chemischen Elemente schwerer als Wasserstoff und Helium als „Metalle“.

Abbildungsnachweise

Abb. 1: AIP/J. Fohlmeister

Abb. 2: AIP/J. Fohlmeister

Abb. 3: Lutz Wisotzki

Abb. 4: NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA), R. Gendler

Abb. 5: ESA and the Planck Collaboration

Abb. 6–8: AIP/J. Fohlmeister

Abb. 9: Hubble, PNAS, 15, 3 (1929)/Lutz Wisotzki

Literatur

- Baade, Walter (1956). “The period-luminosity relation of the Cepheids”. In: *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 68 (400), S. 5–16.
- Bessel, Friedrich W. (1839). „Bestimmung der Entfernung des 61sten Sterns des Schwans“. In: *Astronomische Nachrichten* 16 (5), S. 65–96.
- Dick, Wolfgang R. und Fritze, Klaus (2000). *300 Jahre Astronomie in Berlin und Potsdam. Eine Sammlung von Aufsätzen aus Anlaß des Gründungsjubiläums der Berliner Sternwarte. (Acta Historica Astronomiae Vol. 8)*. Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch.
- Encke, Johann F. (1846). „Schreiben des Herrn Professor Encke an den Herausgeber“. In: *Astronomische Nachrichten* 24 (3), S. 45–46.
- Freedman, Wendy L. und Madore, Barry F. (2010). “The Hubble constant”. In: *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 48, S. 673–710.
- Hubble, Edwin P. (1929). “A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae”, In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 15 (3), S. 168–173.
- (1936). *The Realm of the Nebulae*. Yale: Yale University Press.
- Kapteyn, Jacobus C. (1922). “First attempt at a theory of the arrangement and motion of the sidereal system”. In: *The Astrophysical Journal* 55, S. 302–328.
- Leavitt, Henrietta S. und Pickering, Edward C. (1912). “Periods of 25 variable stars in the small Magellanic cloud”. In: *Harvard College Observatory Circular* 173, S. 1–3.
- Lowell, Bernard (1983). *Das unendliche Weltall – Geschichte der Kosmologie von der Antike bis zur Gegenwart*. München: C.H. Beck.
- Penzias, Arno A. und Wilson, Robert W. (1965). “A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s”. In: *The Astrophysical Journal* 142 (1), S. 419–421.
- Perlmutter, Saul (2003). “Supernovae, dark energy, and the accelerating universe”. In: *Physics Today* 4 (03), S. 53–60.
- Perlmutter, Saul et al. (1999). “Measurements of Ω and Λ from 42 high-redshift supernovae”. In: *The Astrophysical Journal* 517 (2), S. 565–586.
- Prusti, Timo (2012). “The promises of gaia”. In: *Astronomische Nachrichten* 333 5 (6), S. 453–459.
- Riess, Adam et al. (1998). “Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant”. In: *The Astronomical Journal* 116 (3), S. 1009–1038.
- Shapley, Harlow und Curtis, Heber (1921). “The scale of the Universe”. In: *Bulletin of the National Research Council* 2 (3), S. 171–217.
- Tully, R. Brent und Fisher, J. Richard (1977). “A new method of determining distances to galaxies”. In: *Astronomy and Astrophysics* 54 (3), S. 661–673.
- Weigert, Alfred, Wendker, Heinrich J. und Wisotzki, Lutz (2010). *Astronomy und Astrophysics*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Weinberg, Steven (2015). *To Explain the World: The Discovery of Modern Science*. New York: Harper Verlag.

Günther Hasinger

Leibniz und die Planetenforschung

1 Die Gravitationskraft

Gottfried Wilhelm Leibniz und Sir Isaac Newton waren Zeitgenossen, und sie waren Giganten ihrer Zeit. Auf unterschiedliche Weise beschäftigten sich beide mit dem Problem von Raum und Zeit und der Natur der Gravitationskraft und kamen dabei zu sehr unterschiedlichen Schlussfolgerungen. Dabei rieben sich insbesondere auch die Konzepte der klassischen Metaphysik und der modernen Physik aneinander. In einem hoch komplizierten Artikel stellte die belgische Philosophin Karin Verelst 2012 die beiden Protagonisten einander gegenüber unter dem Titel: „Newton gegen Leibniz: Intransparenz gegen Inkonsistenz“.

Sowohl Newton als auch Leibniz bauten auf den Vorarbeiten von Christiaan Huygens und René Descartes auf, der uns das Kartesische Koordinatensystem beschert hat. Danach bewegten sich die Himmelskörper (ebenso wie die Lichtwellen) in einem den ganzen Raum durchdringenden dünnen Medium, dem „Äther“. Im Rahmen von Descartes' Vortex-Theorie wurden die Planeten von den Partikeln des rotierenden Äthers quasi um die Sonne herumgeschoben. Ein rotierender Körper hat demnach die Tendenz, sich wegen seiner Trägheit entlang einer Tangente aus seiner gekrümmten Bahn zu bewegen, dies erzeugt die Zentrifugalkraft. Der Druck der umgebenden Flüssigkeit zwingt den Körper wieder auf seine gekrümmte Bahn zurück, das ist die Zentripetalkraft. Die auf die Planeten wirkende Kraft war demnach eine mechanische Wechselwirkung von Teilchen im lokalen Raum (wie der Stoß zwischen zwei Körpern) und hatte nicht unmittelbar etwas mit der Sonne zu tun.

In seiner unveröffentlichten Arbeit „De gravitatione et equipondio fluidorum“ versuchte Newton im Jahr 1685 zunächst noch, die Fluid-Hypothese von Descartes in eine solide ma-

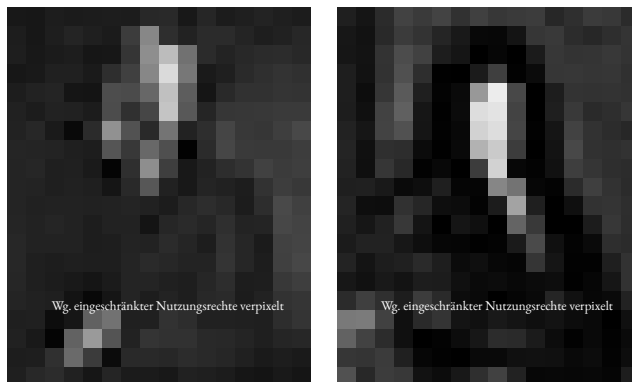


Abbildung 1. Sir Isaac Newton (links) und Gottfried Wilhelm (von) Leibniz (rechts)

thematische Theorie zu fassen, was ihm aber nicht gelang (Hall und Hall 1962). Während er systematisch die von Descartes vorgeschlagenen Positionen untersuchte, entwickelte er seine eigenen Vorstellungen. Dies war vermutlich die Periode, in der ihm die berühmte Idee mit dem vom Baum fallenden Apfel kam: genauso wie der Apfel von der Erde angezogen wird und vom Baum fällt, fallen die Planeten um die Sonne herum. In dieser Arbeit taucht auch das erste Mal Newtons Vorstellung von einem absoluten und unveränderlichen Raum auf, die er 1687 in seinem Hauptwerk „*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*“ (Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie) vollständig ausarbeitet. Demnach übt die Gravitationskraft in Newtons absoluten Inertialraum eine instantane, universelle Wirkung zwischen der Sonne und den Planeten aus. Die Stärke der Gravitationskraft nimmt dabei mit dem Quadrat des Abstandes der Körper ab. Newton konnte auf diese Weise die Kepler'schen Gesetze der Planetenmechanik aus seiner einzigen Kraft herleiten, stellte aber keinerlei Vermutung über die Herkunft der Gravitationskraft auf. Newton, der sich selbst als Naturphilosophen bezeichnete, lehnte die Einführung von Hypothesen strikt ab: „Hypotheses non fingo.“

Leibniz andererseits war einer der wichtigsten Philosophen und Universalgelehrten der Aufklärung, der auf sämtlichen Wissensgebieten seiner Zeit nicht nur bewandert war, sondern auch aktiv arbeitete. Er sagte über sich selbst: „Beim Erwachen hatte ich schon so viele Einfälle, dass der Tag nicht ausreichte, um sie niederzuschreiben.“ Gemäß seinem Motto „*theoria cum praxi*“ entwickelte er sowohl mathematische Methoden und philosophische Ansätze zur Metaphysik, als auch konkrete praktische Apparate. So stammen von ihm einerseits die Beschreibung des Dualsystems, die Entwicklung der Dezimalklassifikation, die Infinitesimalrechnung (Integralrechnung und Differentialrechnung und die Schemata zur Berechnung von Matrizen und Determinanten). Andererseits entwickelte er Pläne für ein Unterseeboot, verbesserte die Technik von Türschlössern, entwickelte ein Gerät zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit, erfand die Staffelwalze für eine mechanische Rechenmaschine und die Endloskette zur Erzförderung im Bergbau. Im Bereich der Lebenswissenschaften gab er den Ärzten den Ratschlag zur regelmäßigen Fiebermessung, gründete eine Witwen- und Waisenkasse und war einer der wesentlichen Begründer der modernen Sprachtheorie, insbesondere der Indogermanistik.¹ Wie oben eingeführt, beschäftigte sich Leibniz ebenfalls mit der Dynamik der Planetenbewegungen. Für den Praktiker Leibniz war die Vorstellung der von Newton postulierten, unmittelbar, also ohne Verzögerungen über große Entfernungen im Planetensystem, wirkenden universellen Gravitationskraft ein Gräuel. Aus seiner Umgebung warf man Newton deshalb „Okkultismus“ vor. Leibniz hielt weiterhin an Descartes' Vortex- und Fluid-Theorie fest, nach der die Planeten von lokalen mechanischen Kräften bewegt wurden. In seiner 1689 veröffentlichten Arbeit „*Tentamen de motuum coelestium causis*“ benötigt er zwei verschiedene Kräfte, um Keplers elliptische Planetenbahnen zu erklären, einerseits die „harmonische Zirkulation“, welche die Kreisbewegung der Planeten verursacht, andererseits den „Tangentenrückzug“, der die Elliptizität der Umlaufbahn verursacht. Leibniz wurde wegen dieser weit hergeholteten Hypothesen aus dem Newton'schen Lager Inkonsequenz vorgeworfen.

Letztendlich wurde der Konflikt zwischen Leibniz und Newton bezüglich der Gravitationskraft erst durch Einstein aufgelöst. Der „Äther“, in dem sich die Lichtwellen und die Planeten bewegen sollten, wurde bereits mit der Speziellen Relativitätstheorie hinweggefeht. Einstein zerstörte Newtons Idee vom absoluten Inertialraum und relativierte sowohl den Raum, als auch

die Zeit, abhängig von der Position des Betrachters. In den Jahren 1915 bis 1916 veröffentlichte Einstein die Grundlagen zur Allgemeinen Relativitätstheorie, nach der die von großen Massen bewirkte Krümmung des Raumes für die Gravitationskraft verantwortlich ist. Wie bei der elektromagnetischen Strahlung wird die Information über eine Änderung der Raumkrümmung mit Lichtgeschwindigkeit verbreitet. Wenn sich zum Beispiel wie in einem Doppelsternsystem zwei große Massen umeinander bewegen, senden sie Gravitationswellen aus, die sich mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum bewegen. Die Gravitationswellen waren die letzte Vorhersage von Einstein's Allgemeiner Relativitätstheorie, die fast genau 100 Jahre nach ihrer Einführung experimentell bestätigt wurde. Das Laser-Interferometer Gravitations-Observatorium LIGO entdeckte Ende 2015 die Gravitationswellen, die von der Vereinigung zweier Schwarzer Löcher mit etwa 30 Sonnenmassen herrührten.²

2 *Infinitesimalrechnung und die Entdeckung des Neptun*

Der zweite Streitpunkt zwischen Newton und Leibniz betrifft die Differential- und Integralrechnung, die von beiden unabhängig voneinander entwickelt wurde. Leibniz veröffentlichte 1684 seinen Formalismus zur Differential und Integralrechnung, mit dem wir alle in der Schule geplatzt wurden. Er teilte dabei eine mathematische Kurve in unendlich kleine Teile, an die er Dreiecke anlegte und somit die Steigung bestimmte. Im Jahr 1687 folgte Newton mit seiner eigenen Methode der Differentialrechnung, die auf Flussröhren und Geschwindigkeitsveränderungen aufbaute. Beide Methoden führen zum gleichen Ergebnis, Leibniz' Notierung hat sich jedoch als weitaus eleganter und praktischer herausgestellt und ist heute der Standard in der Mathematik.

Anhänger Newtons haben später behauptet, Leibniz habe Newtons Ideen aus einem Briefwechsel von 1676 abgeschrieben.

Dies führte zu einer Plagiatsklage, die 1712 von einer Kommission der Royal Society of London untersucht wurde. Die Kommission, von Newton beeinflusst, sprach Leibniz fälschlicherweise schuldig. Dieser Streit belastete dann jahrzehntelang das Verhältnis zwischen englischen und kontinentalen Mathematikern. Heute gelten sowohl Newtons als auch Leibniz' Methode als unabhängig voneinander entwickelt.³

Jedenfalls ist die Differentialrechnung die Grundlage der modernen Wissenschaft und war auch für deren ersten großen Triumph verantwortlich: die Entdeckung des Planeten Neptun. Die fast wie ein Kriminalroman anmutende Geschichte von Neptuns Entdeckung habe ich ausführlich in meinem Buch „Schicksal des Universums“ beschrieben. Fast hat man das Gefühl, als hätte sich darin der Streit zwischen Newton und Leibniz mit teilweise nationalistischen Anwandlungen zwischen England und Kontinentaleuropa fortgesetzt. Im Folgenden gebe ich nur einen kurzen Abriss der Geschichte.

Die klassischen sieben „Planeten“ (Sonne, Mond, Mars, Merkur, Jupiter, Venus, und Saturn) waren bereits im Altertum bekannt und sind auf die sieben Tage der Woche abgebildet. Durch die kopernikanische Revolution wurde 1543 die Sonne in den Mittelpunkt gestellt, die Erde zum Planeten und der Mond zum Mond erklärt wurden. Galilei beobachtete 1613 einen bewegten

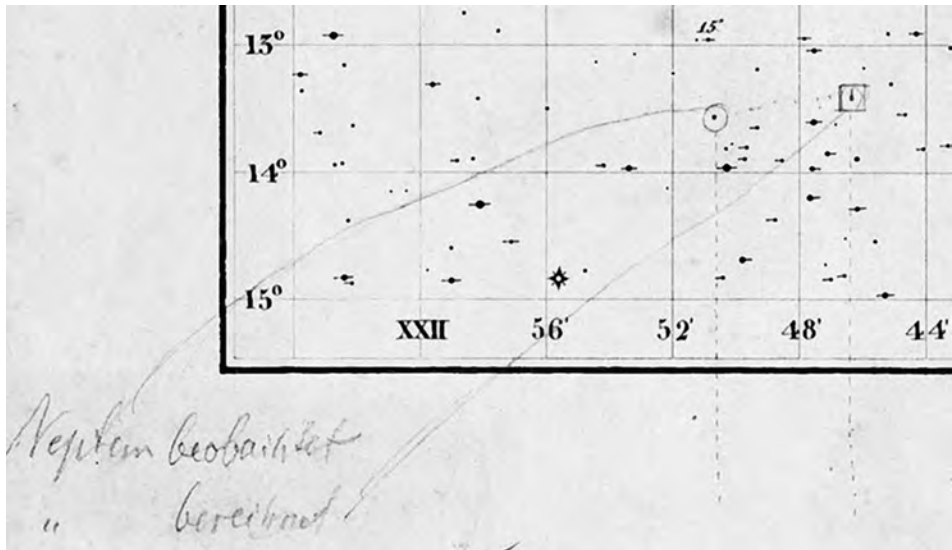


Abbildung 2. Ausschnitt aus der Sternkarte der Preußischen Akademie am Leibniz-Institut für Astrophysik in Potsdam mit Johann Gottfried Galle's handschriftlichen Eintragungen

Lichtpunkt im Fernrohr, der sich 250 Jahre später als der achte Planet herausstellte. Wilhelm Herschel entdeckte 1781 bei der systematischen Durchmusterung des Himmels zufällig den siebten Planeten Uranus. Bei der Anwendung der Newton'schen Himmelsmechanik und Leibniz' Differentialrechnung auf die Bahn des Uranus entdeckte man zwischen 1825 und 1838 Unregelmäßigkeiten, die auf die Existenz eines weiteren möglichen Planeten hindeuteten. Im Jahr 1846 entdeckte Johann Gottfried Galle an der Sternwarte in Berlin den Planeten Neptun – innerhalb von kürzester Zeit und genau an der Stelle, wo er von dem französischen Mathematiker und Astronom Urbain Le Verrier in Paris mit Hilfe der Differentialrechnung vorhergesagt worden war: ein Triumph der modernen Wissenschaft! Das Ganze war eingebettet in eine Art Schlamm-schlacht zwischen englischen und kontinentaleuropäischen Wissenschaftlern, in der letztendlich die englischen Wissenschaftler einen erheblichen Mitanteil an der Entdeckung des Neptuns für sich beanspruchten. Erst über hundert Jahre später konnte man aus den zwischenzeitlich gestohlenen englischen Originalunterlagen nachvollziehen, dass die Ehre der Planetenentdeckung alleine Galle und Le Verrier zustand.

Abb. 2 zeigt einen Ausschnitt der Sternkarte, mit deren Hilfe Galle und sein Doktorand Ludwig D'Arrest innerhalb von nur 45 Minuten an dem von Josef Fraunhofer gebauten Refraktor der Berliner Sternwarte den neuen Planeten entdeckten. Neben der präzisen mathematischen Vorhersage war die Existenz der von Dr. Bremmiker an der Preußischen Akademie der Wissenschaften (der Vorgängerin der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften) angefertigten exakten Sternkarte der Schlüssel zur Entdeckung des Neptun. Auf der Sternkarte, deren Original im Leibniz-Institut für Astronomie in Potsdam-Babelsberg liegt, hat Galle mit Bleistift verzeichnet: „Neptun beobachtet ... berechnet“.

3 Pluto und der Neunte Planet

Bereits kurz nach der Entdeckung Neptuns stellte Le Verrier die Vermutung eines trans-neptunischen Planeten (TNO) auf. Mehrere Teams machten unabhängig voneinander Vorhersagen, für die Position dieses „Planet-X“, die sich im Nachhinein alle als falsch herausstellten. Der reiche amerikanische Hobby-Astronom Percival Lowell baute extra ein eigenes Observatorium in Flagstaff, Arizona, und suchte Zeit seines Lebens erfolglos nach dem neunten Planeten. Der Nachtassistent des Observatoriums von Lowell führte dessen Arbeit fort und durchsuchte jahrelang hunderte von Fotoplatten. Im Jahr 1930 entdeckte er endlich einen schwachen, sich bewegenden Lichtpunkt. Das Objekt wurde mit großem Trara als der neunte Planet gefeiert, der erste, der von einem Amerikaner entdeckt wurde. Nach einem weltweiten Wettbewerb zur Namensgebung wurde der Name Pluto von einer 11-jährigen Schülerin aus England vorgeschlagen und mit Begeisterung aufgenommen. Walt Disney nannte umgehend seinen Zeichentrick-Hund nach ihm. Im Jahr 1978 wurde dann ebenfalls am Lowell Observatory der Pluto-Mond Charon entdeckt. Es bestanden aber von Anfang an erhebliche Zweifel, ob es sich bei Pluto um den lange gesuchten neunten Planeten des Sonnensystems handelt. Dennoch rüstete die NASA ein eigenes Raumschiff aus, um Pluto zu besuchen. Die Sonde ‚New Horizons‘ lieferte im Jahr 2015 spektakuläre Bilder von Pluto (Abb. 3).

Ende des 20. und Anfang des 21. Jahrhunderts wurden mit Hilfe von digitalen Kameras und Computer-Suchprogrammen eine ganze Reihe weiterer Trans-Neptunischer Objekte (TNO) entdeckt, die ähnlich groß oder sogar größer waren als Pluto. Insbesondere die Gruppe von Michael Brown am Caltech spielte dabei eine große Rolle. Bei ihrer Hauptversammlung in



Abbildung 3. ‚New Horizons‘ Aufnahme von Pluto

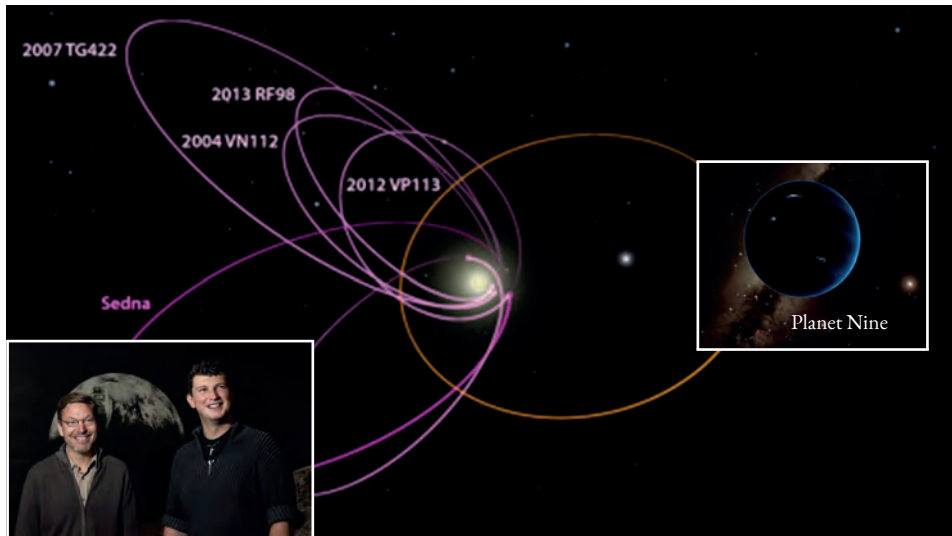


Abbildung 4. Michael Brown und Konstantin Batygin vom California Institute of Technology (Caltech) mit der von ihnen entdeckten Konstellation aus den Umlaufbahnen von sechs Zwergplaneten, die auf die Existenz eines wirklichen neunten Planeten im Sonnensystem hinweist.

Prag im Jahr 2006 stand die Internationale Astronomische Union vor dem Dilemma, entweder dem Sonnensystem eine ganze Reihe von kleinen Planeten hinzuzufügen, was die Bedeutung der klassischen Planeten deutlich geschmälert hätte, oder aber Pluto den Status als Planeten abzuerkennen. In einer dramatischen Serie von Abstimmungen, an denen ich als Vertreter Deutschlands teilnahm, wurde Pluto als Planet abgesetzt, aber gleichzeitig zum „König“ einer neuen Klasse von „Zwerg-Planeten“ ernannt.

2014 schlossen die amerikanischen Astronomen Chad Trujillo und Scott Sheppard aus der Ähnlichkeit der Bahn der TNOs Sedna und 2012VP₁₁₃ auf einen hypothetischen neunten Planeten. Pluto-Killer Mike Brown und Konstantin Batygin vom Caltech leiteten aus sechs ähnlichen TNO Orbits die Existenz eines Planeten etwa der Größe von Neptun ab. Dieser Riesenplanet soll eine bizarre, hoch-elliptische Umlaufbahn in den weiten Fernen des Sonnensystems haben, im Mittel etwa 20 Mal weiter entfernt als Neptun. Seine Umlaufperiode sollte etwa 10–20 000 Jahre betragen (siehe Abb. 4). Diese Theorien haben die Jagd nach Planet Neun erneut angeheizt. Sie wird insbesondere mit Teleskopen in Hawaii mit riesigen digitalen Kameras durchgeführt, mit den Pan-STARRS Teleskopen und dem Subaru-Teleskop.

Die gleichen Teleskope werden übrigens auch bei der Jagd nach Asteroiden eingesetzt, die in den letzten Jahren ebenfalls eine wichtigere Bedeutung erlangt haben. Im Jahr 1998 verfügte der US-Kongress, dass die NASA 90 Prozent aller erdnahen Objekte mit einem Durchmesser über einem Kilometer finden sollte, die eine Massenauslöschung verursachen könnten. Laut einer Pressemitteilung der NASA wurde dieses Ziel im September 2011 erreicht, nachdem mehr als 900 dieser Objekte entdeckt worden waren – übrigens keines von ihnen auf Kollisionskurs

mit der Erde. Im Jahr 2005 wurde jedoch das Mandat des Kongresses darauf erweitert, bis zum Jahr 2020 90 % aller gefährlichen Objekte mit Durchmessern bis zu 140 Meter oder mehr zu finden, und wir sind diesem Ziel bei Weitem noch nicht nahegekommen.

Die jüngste Aufregung wurde durch den Meteoriten verursacht, der am 15. Februar 2013 in der Atmosphäre über der russischen Stadt Tscheljabinsk explodierte. Der erdnahe Asteroid mit etwa 15–20 Metern Durchmesser explodierte in einer Höhe von etwa 30 Kilometern mit einer Energie von ca. 500 Kilotonnen TNT, etwa das 20–30-fache der Bombe von Hiroshima. Als solches war es das größte Objekt nach dem Tunguska-Ereignis, das 1908 in der Nähe des heutigen Krasnojarsk in Sibirien beobachtet wurde. Die in der Atmosphäre erzeugte Schockwelle zerstörte in der Stadt Tscheljabinsk viele Glasfenster und verursachte Verletzungen bei mehr als 1000 Menschen – zum Glück keine Todesopfer. Das Tscheljabinsk-Ereignis rüttelte die Politiker in den USA wieder auf, die daraufhin ihre finanzielle Unterstützung der Asteroidenforschung deutlich erhöhten.

Asteroiden sind aber auch aus anderen Gründen interessant. Letztendlich sind sie für den Aufbau der Erde in der Frühzeit des Sonnensystems verantwortlich und haben insbesondere die Bodenschätze und möglicherweise auch das Wasser auf die Erde gebracht. Die Tatsache, dass die wertvollen Bodenschätze, wie z. B. Gold- und Silberadern in der Erdkruste so ungleichmäßig verteilt sind, ist sehr wahrscheinlich auf einzelne Meteoriteneinschläge zurückzuführen. Einige für die Zukunft wichtige seltene Materialien wie zum Beispiel Tantal sind inzwischen auf der Erde rar geworden. Das hat findige Geschäftsleute auf die Idee gebracht, in Zukunft möglicherweise geeignete Asteroiden einzufangen und spezielle Bodenschätze auf ihnen zu fördern. Das Interesse der NASA hat sich ebenso den Asteroiden zugewandt. Sie hat ihr langfristiges Ziel, möglichst bald Menschen auf den Mars zu bringen, zugunsten der Landung auf einem Asteroiden, möglicherweise sogar des Einfangs eines Asteroiden hintangestellt. In diesem Zusammenhang ist eine Entdeckung interessant, die uns vor kurzem an der Universität von Hawaii mit dem Pan-STARRS Teleskop gelungen ist.⁴ Der Asteroid 1016 HO₃ hat sich als ein Objekt herausgestellt, das wie ein zweiter Mond unsere Erde umkreist. Der etwa 100 Meter große Körper befindet sich zwar auf einer Umlaufbahn um die Sonne, bleibt dabei aber der Erde immer so nahe, dass er sie wie ein Quasi-Mond umkreist. Dieser Asteroid könnte sich für die Zukunft noch wichtig erweisen, weil er unter den bekannten erdnahen Objekten dasjenige mit der kleinsten Geschwindigkeitsdifferenz ist, das also mit dem geringsten Aufwand erreichbar ist.

4 *Unzählig viele Welten*

Das Forschungsfeld der extrasolaren Planeten hat in den letzten beiden Jahrzehnten einen dramatischen Aufschwung erfahren. Inzwischen haben die Astronomen tatsächlich bereits etliche tausend Planeten außerhalb unseres Sonnensystems entdeckt. Die Suche nach Anzeichen von Leben auf extrasolaren Planeten ist eines der faszinierendsten Forschungsziele, eine Art Heiliger Gral der Astronomie in den nächsten Jahrzehnten. Planeten um andere Sterne sind extrem schwer dingfest zu machen, weil aus großer Entfernung betrachtet ihr schwaches Licht vollständig vom Mutterstern überstrahlt wird und es damit nur in wenigen Ausnahmefällen möglich ist, die Planeten von ihrem Stern zu trennen und separat zu fotografieren. Es gibt jedoch eine

Reihe indirekter Methoden zur Planetenentdeckung, die hauptsächlich auf den Auswirkungen basieren, die der Planet auf seinen Mutterstern hat.

Die ersten Hoffnungen zur Entdeckung von Exoplaneten wurden geweckt, als Astronomen in den 1980er Jahren mit Hilfe von Infrarotbeobachtungen Staubscheiben um ansonsten ganz normale Sterne fanden. Der berühmt gewordene erste Fall einer derartigen Staubscheibe existiert um den Stern Beta Pictoris im Sternbild Maler. Diese Staubscheiben werden als die Wiegen von Planetensystemen angesehen. Die ersten Entdeckungen von extrasolaren Planeten wurden 1994 im Radiobereich gemacht, wo man einige Objekte der Größe von Planeten fand, die einen Pulsar, einen schnell rotierenden Neutronenstern umkreisen. Der wirkliche Durchbruch kam jedoch im Oktober 1995, als zwei Astronomen von der Universität Genf, Michel Mayor und Didier Queloz, mit Hilfe der relativ kleinen Teleskope des Observatoire de Haute Provence die erste definitive Entdeckung eines extrasolaren Planeten um den normalen Stern 51 Pegasi machten. Parallel dazu haben Geoffrey Marcy und R. Paul Butler an den Lick- und Keck-Teleskopen ebenfalls extrasolare Planeten gefunden. Beide Teams verwendeten die so genannte „Doppler-Wobble“-Methode. Durch hochpräzise Spektroskopie misst dieses Verfahren die durch die Umlaufbewegung der Planeten verursachte extrem kleine Bewegung des zentralen Sterns. Jupiter, beispielsweise, umrundet die Sonne nur näherungsweise. Nach den Keplerschen Gesetzen kreisen beide Himmelskörper in Wirklichkeit um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Als Ergebnis tanzt die Sonne periodisch um den gemeinsamen Schwerpunkt, der sich noch innerhalb der Sonnenoberfläche befindet. Um die sehr kleine Radialgeschwindigkeit des Sterns von wenigen Metern pro Sekunde, also etwa Schrittgeschwindigkeit, zu messen, ist eine extrem genaue Geschwindigkeitsfalle notwendig. Wie bei den Radarfallen der Polizei funktioniert dies mit Hilfe des Doppler-Effekts, das heißt der Verschiebung der Spektrallinien im Spektrum des Sterns. Mit Hilfe von Keplers Gesetzen kann dieses „Doppler-Wobble“ oder „Radialgeschwindigkeits-Verfahren“ aus der Umlaufbahn die Masse des Planeten bestimmen.

Im folgenden Jahrzehnt gab es eine Welle von neuen Entdeckungen in diesem Bereich, teilweise angetrieben durch den Bau von neuen, speziell dafür entwickelten bodengebundenen Instrumenten und besser ausgereiften Technologien, wie die adaptive Optik, die direkte Abbildungen einiger Planeten in speziellen Konfigurationen erlaubte, durch bessere Spektrographen, bessere Detektoren und leistungsfähigere Computer-Algorithmen. Im Juli 2016 listet die „Enzyklopädie der Extrasolaren Planeten“ 3473 entdeckte Exoplaneten in 2598 Planetensystemen auf, davon 589 mit mehreren Planeten in einem System.⁵

Der sprunghafte Anstieg der Entdeckung von Exoplaneten in den letzten zehn Jahren ist der Einführung einer neuen indirekten Entdeckungsmethode zu verdanken. Wenn wir Glück haben, sehen wir die Ebene, in welcher der Planet seinen Mutterstern umkreist, von der Kante, so dass der Begleiter regelmäßig vor seinem Stern vorbeizieht. Dieses Phänomen bezeichnet man als „Transit“. Am 5. Juni 2012 versammelte sich in einer vom Institut für Astronomie der Universität von Hawaii organisierten Veranstaltung eine große Menge von Zuschauern am Strand von Waikiki in Honolulu, um den Durchgang der Venus vor der Sonne zu beobachten, ein Schauspiel das nur etwa alle 115 Jahre auftritt, jeweils in Paaren in acht Jahren Abstand. Es war faszinierend zu sehen – zusammen mit 15 000 Zuschauern am Waikiki Beach – wie sich der kleine „Schönheits-Fleck“ der Venus im Verlauf von 6½ Stunden über das Gesicht der Sonne bewegte. Der Transit eines Exoplaneten ist ein ähnlich seltenes Phänomen, weil man das ferne

Planetensystem fast genau von der Kante sehen muss. Im Falle eines erdähnlichen Planeten um einen sonnenähnlichen Stern ist die Wahrscheinlichkeit, einen Durchgang zu erhaschen nur etwa 0,5 %. Im Falle eines Planeten der Größe von Jupiter, der sehr nahe um seinen Stern kreist, kann die Wahrscheinlichkeit auf etwa 10 % steigen. Wenn der Planet vor seinem Mutterstern steht, wird eine geringe Menge des Sternenlichtes abgeschattet, so dass seine Helligkeit ein klein wenig abfällt. Mit modernen Detektoren und einer sehr stabilen Beobachtungsplattform kann diese sehr geringe Reduktion gemessen werden, und wenn man lange genug beobachtet, sollte man sehen, wie sich das Signal periodisch wiederholt. Im Jahr 1999 kündigte die Gruppe von Michel Mayor die erste Entdeckung des Transits eines Exoplaneten an, die sie mit einem kleinen 10 cm-Teleskop gemacht hatten, das mit einem modernen CCD-Detektor ausgestattet war. Der Planet HD 209458b war ursprünglich mit der Doppler-Wobble-Methode entdeckt worden, aber die beobachteten Transitsignale haben ohne jeden Zweifel die Existenz des Planeten bestätigt und eröffneten einen neuen Weg für die Entdeckung von Exoplaneten.

Der Durchbruch auf dem Gebiet der Planeten-Transits kam mit speziellen Weltraumbeobachtungen. Die französische Raumfahrtbehörde CNES startete im Jahr 2006 den CoRoT-Satelliten, die erste Weltraummission, die speziell zur Entdeckung von Exoplaneten konzipiert war. Mit seinem 27 cm-Teleskop hat CoRoT in der Tat die ersten Exoplaneten mit Hilfe von Transits entdeckt. Im Jahr 2009 startete die NASA ihre erste Exoplaneten-Mission ‚Kepler‘. Der Satellit trägt ein einziges Instrument mit einem 95 cm-Teleskop und 42 CCDs in der Fokalebene, die ein riesiges Gesichtsfeld von etwa 12 Grad Durchmesser bedecken. Über mehr als vier Jahre starrte ‚Kepler‘ kontinuierlich auf ein Himmelsfeld im Sternbild des Schwan, wo er gleichzeitig die Helligkeit von mehr als 150 000 Sternen gemessen hat und alle 30 Minuten extrem genaue photometrische Messungen aufnahm. Im Mai 2013 verlor der Kepler-Satellit leider das zweite seiner vier Reaktionsräder und konnte daher seine nominale Mission nicht fortsetzen. Inzwischen haben die Wissenschaftler und Ingenieure der NASA zusammen mit der Firma, die den Satelliten ursprünglich gebaut hatte, einen hochkomplizierten neuen Betriebsmodus für ‚Kepler‘ entwickelt, der unter dem Namen „K2“ die Beobachtungen der Exoplaneten fortsetzen konnte. Tatsächlich hat unser Institut vor kurzem eine Presseerklärung herausgegeben, in der die ersten einhundert mit K2 entdeckten Exoplaneten angekündigt wurden.⁶

Die Statistik der Entdeckung von Exoplaneten ergab mehrere Überraschungen. Die Radialgeschwindigkeitsmethode ist am empfindlichsten für große, jupiter-ähnliche Planeten, die sehr nahe um ihren Mutterstern kreisen. Tatsächlich sind die Statistiken der ursprünglich mit der Radialgeschwindigkeitsmethode entdeckten Exoplaneten von Objekten von Jupiter-Größe und größer dominiert. Überraschenderweise war die typische Geometrie der entdeckten Planetensysteme völlig verschieden von unserem eigenen Sonnensystem, mit größeren Planeten viel näher an ihrem Mutterstern. Die extremsten Fälle sind so genannte „heiße Jupiter“, große Gasplaneten, die ihren Stern näher umkreisen als Merkur die Sonne. In so einem heißen Jupiter erreicht die seinem Stern zugewandte Seite Temperaturen vergleichbar mit der Sternoberfläche, während die dem Stern abgewandte Seite viel kälter ist – was ein teuflisches Klima verursacht. Obwohl die Statistik der Entdeckungen offensichtlich durch Selektionseffekte verfälscht wird, hat die Tatsache, dass große Planeten so nahe an ihren Zentralsternen gefunden wurden, viele neue theoretische Arbeiten über die Entwicklung von Planetensystemen ausgelöst, einschließlich unseres eigenen Sonnensystems. Tatsächlich wird die Wanderung großer Planeten von den äußeren Bereichen

bis in die Nähe ihres Zentralgestirns inzwischen als ein wichtiger Bestandteil in der Entstehung und Entwicklung der Planetensysteme angesehen. Dieser Prozess könnte unter Umständen eine wichtige Rolle beim Transport von Wasser aus den äußeren, kalten Bereichen des entstehenden Planetensystems in das Innere der Planetenscheibe spielen⁷.

Aus der Statistik der Exoplaneten und ihrer Muttersterne können weitere wichtige Aussagen abgeleitet werden. Zumindest die Jupiter-ähnlichen Gasriesen scheinen nur um Sterne zu existieren, die wie die Sonne bereits einen großen Anteil an den im Rahmen der kosmischen chemischen Entwicklung gebildeten schweren Elementen in ihren Atmosphären haben. Kleinere Planeten wurden dagegen auch um chemisch relativ junge Sterne entdeckt, die nach dem Urknall aus fast jungfräulichem Gas mit einem sehr niedrigen Gehalt an schweren Elementen gebildet wurden.

5 *Exoplaneten-Entdeckungen in Hawaii*

In den letzten Jahren haben sich die Universität von Hawaii in Manoa und insbesondere das Institut für Astronomie (IfA) bei der Entdeckung und Untersuchung von Exoplaneten zu wohl einem der weltweit aktivsten Exzellenzzentren entwickelt. Als Direktor hatte ich die Freude und Ehre, diese Entwicklung zu begleiten. Eine sehr aktive junge Gruppe von Dozenten, Post-Docs und Doktoranden trägt das Feld vorwärts, und ich möchte hier einige ihrer jüngsten Entdeckungen darstellen.

Adam Kraus, ein ehemaliger Post-Doc des IfA, hat zusammen mit seinem Kollegen Michael Ireland, das erste direkte Bild eines „Baby-Planeten“ im Prozess der Entstehung um seinen Stern eingefangen. Das Objekt LkCa 15b sieht aus wie ein heißer ‚Protoplanet‘ der von einer Wolke aus kühlerem Staub und Gas umgeben ist, das auf den sich noch bildenden Planeten fällt. Mit einem Alter von nur zwei Millionen Jahren ist dies der jüngste jemals entdeckte Planet; er sitzt in einer großen Lücke zwischen dem jungen Mutterstern und einer äußeren Scheibe aus Staub (siehe Abb. 5). Die beiden Astronomen kombinierten die Leistung der adaptiven Optik des 10-Meter-Keck-Teleskops, welche die Luftturbulenz über Maunakea korrigiert, mit der klassischen Technik der Aperturmaskeninterferometrie, bei der eine kleine Maske mit mehreren Löchern in den optischen Pfad gebracht und durch das Riesenteleskop fokussiert wird. Auf diese Weise konnten sie den bisher schärfsten Kontrast in den Aufnahmen erreichen und so die Lücken in den protoplanetaren Scheiben um junge Sterne auflösen, um zu sehen, wo sich neu bildende Planeten im Staub verstecken könnten.⁸

Mit den Planeten-Transit-Daten der NASA-Mission ‚Kepler‘ hat ein anderes Team von Astronomen, unter anderem mit Nader Haghighipour vom IfA, ein System entdeckt, wo zwei Planeten um zwei Sterne kreisen – ein Double-Double. Dieses System mit der Bezeichnung Kepler-47 ist dem legendären Planeten Tatooine im Star Wars Universum ähnlich – der Heimat von Luke Skywalker. Inzwischen wurden bereits mehr als zehn ähnliche Planetensysteme entdeckt. Diese Ergebnisse zeigen, dass komplette Planetensysteme um Doppelsterne existieren können.⁹

Ein internationales Team von Astronomen unter der Leitung von Michael Liu und Eugene Magnier vom IfA hat einen exotischen, frei fliegenden Planeten entdeckt, der keinen Stern

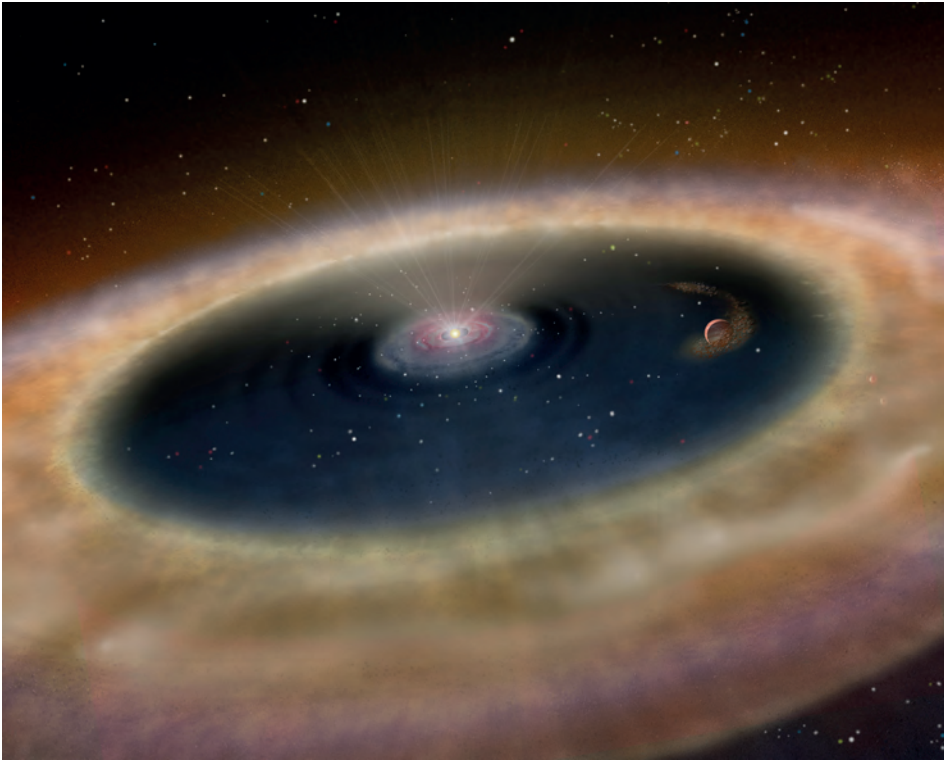


Abbildung 5. Künstlerische Darstellung der protoplanetaren Scheibe um den Stern LkCa 15. Der „Baby-Planet“ LkCa15b sammelt immer noch Material aus seiner Wiege aus Gas und Staub auf. (Karen Teramura, UH Institute for Astronomy)

umkreist. Das Objekt mit dem Namen PSO J318.5-22 ist nur 80 Lichtjahre von der Erde entfernt und hat eine Masse von etwa sechs Jupiter-Massen, sowie ein Alter von nur 12 Millionen Jahren. Mit Hilfe des Pan-STARRS 1 (PS1) Teleskops identifizierten sie dieses einzigartige Objekt anhand seines schwachen und seltsam gefärbten Lichtes und verwendeten dann andere Teleskope in Hawaii, um zu zeigen, dass es Eigenschaften ähnlich denen anderer Gasriesenplaneten hat, die um junge Sterne kreisen. Aber der „Lonely Planet“ PSO J318.5-22 ist ganz allein, ohne einen Mutterstern. Wie ein solcher Planet gebildet werden könnte, ist immer noch eine ungelöste Frage. Basierend auf seinem Abstand und seiner Bewegung durch den Raum hat das Team festgestellt, dass PSO J318.5-22 zu einer Ansammlung junger Sterne gehört, die sich zusammen mit dem berühmten Stern Beta Pictoris gemeinsam durch die Milchstraße bewegt und vor etwa 12 Millionen Jahren entstanden ist.¹⁰

Ein von Andrew Howard am IfA geführtes Team von Astronomen hat den ersten erdgroßen Planeten außerhalb unseres Sonnensystems entdeckt, der eine felsige Zusammensetzung wie die Erde hat.¹¹ Dieser Exoplanet mit der Bezeichnung Kepler-78b umkreist seinen Stern alle 8,5 Stunden auf einer sehr engen Umlaufbahn und ist daher viel zu heiß, um die Existenz von

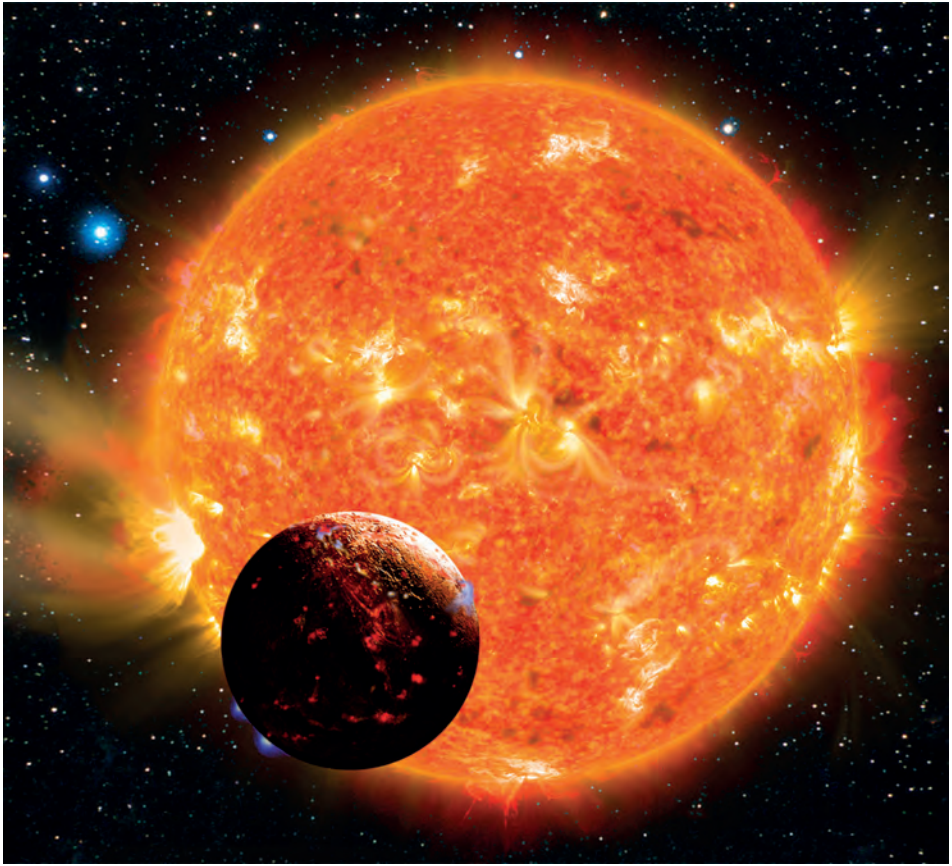


Abbildung 6. Künstlerische Darstellung des „Lava-Planeten“ Kepler 78b (Karen Teramura, UH Institute for Astronomy)

Leben zu ermöglichen. Nach der Entdeckung der typischen Planetentransits in den Kepler-Daten, konnten sie mit Hilfe hochauflösender Spektroskopie mit dem Keck-Teleskop die Masse des Planeten messen. Bereits zuvor war eine Handvoll von Planeten mit entweder der Größe oder der Masse der Erde entdeckt worden, aber dies ist der erste erdähnliche Planet, bei dem sowohl die Masse als auch die Größe bekannt ist, so dass die Astronomen die Dichte messen und damit beweisen konnten, dass der Planet, wie die Erde, in erster Linie aus Stein und Eisen besteht. Eine unabhängige Studie von der Genfer Sternwarte bestätigte diese Ergebnisse. Der Mutterstern von Kepler-78b ist etwas kleiner und weniger massereich als die Sonne und etwa 400 Lichtjahre entfernt. Wie dem auch sei, es würde sich wahrscheinlich nicht lohnen, dorthin zu reisen, weil die Temperatur auf diesem Planeten höllisch heiß sein muss, so dass seine Gesteinsoberfläche höchstwahrscheinlich aus geschmolzener Lava besteht (siehe Abb. 6).

Obwohl der Kepler-Satellit ja nun teilweise gelähmt ist und einem neuen Betriebsmodus unterliegt, hat er sein Haupt-Ziel erreicht, nämlich zu bestimmen, welcher Anteil der Sterne in

unserer Milchstraße potenziell bewohnbare Planet hat. Zusammen mit Andrew Howard vom IfA und dem Exoplaneten Pionier Geoffrey Marcy von der UC Berkeley hat der Doktorand Eric Petigura von der Universität Berkeley, der für ein Jahr am IfA zu Besuch war, die Statistik aller Kepler-Entdeckungen analysiert. Er kam zu dem grundlegenden Schluss, dass rund ein Fünftel aller sonnenähnlichen Sterne in der Milchstraße über Planeten verfügen, die ungefähr so groß wie die Erde sind und deren Temperatur flüssiges Wasser auf ihrer Oberfläche und damit möglicherweise auch Leben ermöglichen würde.¹²

Diese erstaunliche Erkenntnis bedeutet, dass, wenn man sich die Tausende von Sternen am Nachthimmel anschaut, der nächste sonnenähnliche Stern mit einem erdähnlichen Planeten in seiner bewohnbaren Zone wahrscheinlich nur etwa zwölf Lichtjahre entfernt ist und mit dem bloßem Auge gesehen werden kann. Dieses Ergebnis wurde im Jahr 2014 in den *Proceedings der US National Academy of Sciences* veröffentlicht, und die Autoren wurden mit dem renommierten Cozzarelli-Preis der Akademie ausgezeichnet.

6 Der heilige Gral: Eine zweite Erde

Wir wissen also inzwischen, dass erdähnliche Planeten in der bewohnbaren Zone um sonnenähnliche Sterne in unserer Milchstraße relativ häufig vorkommen. Zumindest in astronomischen Maßstäben sollte das uns am nächsten gelegene Objekt, eine zweite Erde, direkt vor unserer kosmischen Haustüre liegen, in einer Entfernung von etwa 12 Lichtjahren, also gerade mal drei Mal weiter als der uns am nächsten gelegene Stern Proxima Centauri. Von dieser Erkenntnis bis zur Entdeckung und genaueren Untersuchung einer zweiten Erde ist es aber noch ein sehr langer Weg. In den nächsten Jahren und Jahrzehnten werden unsere Werkzeuge dazu deutlich geschärft werden. Wir benötigen wesentlich längere und deutlich empfindlichere Zeitreihen, um eine zweite Erde mit den klassischen Methoden zu entdecken. Neue, speziell für die Entdeckung von Planetentransits optimierte Weltraumobservatorien werden derzeit entwickelt: der TESS-Satellit der NASA und die Plato-Mission der ESA, zu der Heike Rauer am Institut für Planetenforschung am DLR forscht. Für die genauere Massenbestimmung mit Hilfe der Doppler-Wobble Methode werden extrem stabile und hochauflösende Spektrographen für die Teleskope der 8–10-Meter-Klasse entwickelt. Letztendlich ist es aber notwendig, Planeten direkt abzubilden und das Spektrum ihrer Atmosphäre auf die Existenz biogener Moleküle hin zu untersuchen. Die nächsten Weltraumteleskope der NASA, einerseits das JWST mit einem Spiegeldurchmesser von 6,5 Metern, das im Jahr 2017 gestartet werden soll, und einige Jahre später die WFIRST-Mission, die einen speziellen Koronographen zur Ausblendung des Sternlichts beinhaltet, werden wichtige Schritte in diese Richtung unternehmen. Der wirkliche Durchbruch bei der Entdeckung und Untersuchung einer zweiten Erde wird jedoch von der nächsten Generation von Riesen-Teleskopen der 25–40-Meter-Klasse erwartet. Diese Teleskope sollten in der Lage sein, erdähnliche Planeten von ihren Muttersternen zu trennen, abzubilden und zu spektroskopieren.

Dies ist einer der wesentlichen Gründe, warum die Gemeinde der Astronomen die Pläne zum Bau des 30-Meter Teleskops TMT auf dem Maunakea in Hawaii stark befürwortet und unterstützt. Leider ist der Baubeginn für dieses Teleskop in Hawaii im letzten Jahr ins Stocken

geraten, weil eine kleine, aber gut organisierte Gruppe von Hawaiianischen Ureinwohnern den Berg als zu heilig und den Bau des Teleskops als nicht mit ihren kulturellen Traditionen vereinbar betrachtet. Die Staatsregierung und die Universität von Hawaii haben versucht, mit deutlichen Zugeständnissen einen Kompromiss zu erreichen, leider ohne großen Erfolg. Das TMT ist ein weithin sichtbares Zeichen, an dem sich wie bei einem Blitzableiter unter anderem die über Jahrzehnte aufgestaute Wut über die Kolonialisierung und Unterdrückung des Hawaiianischen Volkes entlädt, das aber auch andere Protestkulturen, zum Beispiel gegen genetisch modifizierte Organismen oder andere Entwicklungen der modernen Technik, anzieht. Umgekehrt gibt es auch starke Stimmen in der Hawaiianischen Bevölkerung, die die Teleskope und die Astronomie auf den Vulkangipfeln unterstützen, vor allem wegen ihrer positiven Auswirkungen auf die Ausbildung und Arbeitsmöglichkeiten für ihre Kinder. Letztendlich wird es darauf ankommen, was die Gerichte und die Mehrheit der Bevölkerung in Hawaii entscheiden. Die wichtigste Aufgabe ist in diesem Zusammenhang die konstruktive Kommunikation und die korrekte Information der Bevölkerung.

Ein Punkt der oft missverstanden wird, ist die tatsächliche Größe und die geographische Lage des TMT. In vielen Vorstellungen ist das TMT ein gigantisches Ungetüm, das den kompletten Berg dominieren und entweihen wird. Diese Vorstellung wurde zum Teil auch durch bildliche Darstellungen der Projektbetreiber geschürt. Die Wirklichkeit sieht völlig anders aus. Obwohl das TMT einen etwa 3,75 Mal größeren Hauptspiegeldurchmesser hat, als zum Beispiel das japanische Subaru-Teleskop, wird die Kalotte seines Domes nur etwa 30 % höher sein, als das Subaru-Gebäude. Dies ist dem sehr gut optimierten optischen Design des TMT zu verdanken. Im Rahmen der Vorbereitung auf den Bau haben sich die TMT-Betreiber auch auf einen Kompromiss bezüglich der Lage des Teleskops geeinigt, was auf einem Plateau etliche hundert Meter unterhalb der Gipfelregion gebaut werden soll und nicht von den kulturell empfindlichen Stellen des Berges aus zu sehen ist, eben so wenig wie von 85 % der Insel Hawaii. Wir hoffen, dass die positiven Argumente letztendlich überwiegen und den Bau des TMT in Hawaii doch noch ermöglichen. Das TMT-Konsortium hat aber bereits angekündigt, im Fall weiterer Verzögerungen einen alternativen Bauplatz zu wählen. In diesem sehr bedauerlichen Falle wäre Hawaii vermutlich nicht mehr in der Lage, das Tor zur Entdeckung und zum Studium der Erde-2 aufzumachen.

Anmerkungen

1. Diese Aufzählung stammt aus https://de.wikipedia.org/wiki/Gottfried_Wilhelm_Leibniz (18. Juli 2016)
2. Vgl. <https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20160211> (besucht am 13. 9. 2016)
3. <https://de.wikipedia.org/wiki/Infinitesimalrechnung> (19. Juli 2016)
4. Vgl. <http://www.hawaii.edu/news/2016/06/16/newly-discovered-asteroid-is-earths-companion/> (besucht am 13. 9. 2016)
5. Vgl. <http://exoplanet.eu/catalog> (besucht am 13. 9. 2016)
6. Vgl. http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/k2_100planets/ (besucht am 13. 9. 2016)
7. Vgl. dazu eine jüngst veröffentlichte Pressemitteilung von Wissenschaftlern unseres Institutes: <https://public.nrao.edu/news/pressreleases/2016-alma-water-snowline> (besucht am 13. 9. 2016)
8. Vgl. <http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/formingplanet/> (besucht am 13. 9. 2016)
9. Vgl. http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/largest_circumbinary/ (besucht am 13. 9. 2016)
10. Vgl. <http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/LonelyPlanet/> (besucht am 13. 9. 2016)

11. Vgl. <http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/Kepler-78b/> (besucht am 13. 9. 2016)
12. Vgl. <http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/HabitablePlanetsCommon/> (besucht am 13. 9. 2016).

Abbildungsnachweise

Abb. 1a: akg-images/Nimatallah

Abb. 1b: bpk

Abb. 2: Sternkarte von C. Bremiker, Stunde XXI, Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP), Archiv

Abb. 3: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute

Abb. 4: Caltech/R. Hurt (IPAC), Lance Hayashida/Caltech

Abb. 5, 6: K. Teramura, UH Institute for Astronomy

Literatur

- Hall, A. Rupert und Hall, M. Boas (1962). *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hasinger, Günther (2009). *Das Schicksal des Universums. Eine Reise vom Anfang zum Ende*. München: Verlag C.H. Beck.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1972). „Tentamen de motuum coelestium causis“. In: *Mathematische Schriften*, Bd. VI. Hrsg. von C. I. Gerhardt. Hildesheim: Georg Olms Verlag, S. 144–161.
- Newton, Isaac (1972). *Philosophiae naturalis principia mathematica*. The third edition (1726) with variant readings. Hrsg. von Alexandre Koyré, I. Bernhard Cohen und Anne Whitman. Cambridge: Cambridge University Press.
- Verelst, Karin (2012). *Newton vs. Leibniz: Intransparency vs. Inconsistency*. URL: <http://arxiv.org/abs/1203.2292v1> (besucht am 13. 9. 2016)

Teil IV

Sprache: Einheit und Vielfalt der Vernunft



Gottfried Wilhelm Leibniz, Diagramm Characteristica Universalis, in: *Dissertatio de Arte Combinatoria*, 1666 (GWLH Hannover, NM-A:836 Stück 9)

Einleitung

Sprachen sind bei Leibniz nicht nur Kommunikations-Mittel, sondern vor allem Denk-Mittel. Das ist eine der wesentlichen Erkenntnisse der europäischen Aufklärung seit Bacon und Locke. Als Denk-Mittel steht Sprache in der Spannung zwischen der Einheit der Vernunft und der sprachlichen Vielfalt. Zum besseren Verständnis dieser Spannung ist es hilfreich, auf die philosophischen Grundlagen zu verweisen: Die Einheit der Vernunft ist bei Leibniz nicht so sehr als „reine Vernunft“, sondern eher als ein Ensemble von hierarchisch geordneten Denkformen zu sehen. In den *Meditationes de cognitione, veritate et ideis* von 1684 entwirft Leibniz bekanntlich eine Stufenleiter von cognitiones, von Erkenntnisformen, einen Aufstieg des Geistes von dunklen Intuitionen bis zu wissenschaftlichen Erkenntnissen.

Die cognitio kann zunächst dunkel oder hell, obscura oder clara sein, die klare Erkenntnis kann entweder konfus oder distinkt, die distinkte Erkenntnis kann schließlich adäquat oder inadäquat sein. Ziel aller cognitio ist dabei die Gewinnung der höchsten, also der klar distinkten adäquaten wissenschaftlichen Erkenntnis. Aber – und das ist das Wichtige – auch die niedrigeren Erkenntnisformen sind cognitiones und als solche von besonderem Wert. Die Sprache als Erkenntnisform gehört auf die Ebene der klar-konfusen Erkenntnis. Die Wertschätzung der niedrigeren Erkenntnisformen erlaubt es Leibniz, die Sprache – er denkt vor allem an die Semantik der Wörter – als kognitive Leistung anzuerkennen und die Vielfalt der Sprachen als „wunderbare Vielfalt der Operationen unseres Geistes“ zu fassen, wie er in den *Nouveaux Essais* schreibt.

Da das in den Sprachen geformte Denken nicht das höchste ist, stehen die Sprachen in einer gewissen Spannung zum wissenschaftlichen Denken, zur *cognitio clara distincta adaequata*. Die originelle Lösung dieses Problems besteht bei Leibniz – im Gegensatz zu seinen Vorgängern Bacon oder Locke – darin, dass er die kognitive Leistung der natürlichen Sprache anerkennt. Während Bacon die Semantik der Sprache als *idola fori*, als Götzen des Markplatzes, aus der neuen Welt der Wissenschaften tilgen will, überlegt Leibniz, wie er *auf der Basis der Sprachen* diese übersteigen kann. So fragt er beispielsweise, ob die chinesischen Schriftzeichen als sprachtranszendierende Begriffs-Zeichen das Modell einer *characteristica universalis* sein könnten. Wegen der Wertschätzung auch der klar-konfusen Ideen schätzt Leibniz die natürlichen Sprachen, die alle in dem von ihm entworfenen Projekt einer deskriptiven Linguistik erfasst werden sollen.

In die Rappuse gegangen: Leibniz und das Deutsche

1 *In der Rappuse: Das Böse zum Guten kehren*

§ 25. Allein wie der Dreißigjährige Krieg eingerissen und überhandgenommen, da ist Deutschland von fremden und einheimischen Kriegsvölkern wie mit einer Wasserflut überschwemmt worden und nicht weniger unsere Sprache als unser Gut in die Rappuse gegangen; und man sieht, wie die Reichsakten solcher Zeit mit Worten angefüllt sind, deren sich freilich unsere Vorfahren geschämt haben würden.¹

Das Deutsche ist geplündert worden, ist Kriegsbeute geworden. Das bedeutet die Wendung „in die Rappuse gehen“, nach Grimm ein Wort aus der Landsknechtssprache.

Dieser Paragraph eröffnet eine Sequenz der „Unvorgreiflichen Gedanken“ (1697)² über die Zerstörung des Deutschen durch den Krieg, das heißt vor allem durch die aus ihm folgende Franzöisierung der deutschen Sprache, Leibniz nennt es „Franzenzen“ (§ 27).

Frankreich hat den Krieg gewonnen, politisch und kulturell (und es führt weiter Krieg in Deutschland und Europa). Seit dem Westfälischen Frieden, so Leibniz, habe eine ganze junge Generation mit großem Einfluss durch Herkunft, Reichtum, Ansehen und „vornehme Ämter“ das Land „der französischen Mode und Sprache unterwürfig gemacht“ (§ 26). Modern gesagt: Die deutschen Eliten sind nach dem Krieg in die Kultur der Sieger übergelaufen. Leibniz bezieht sich dabei offensichtlich auf die 60er Jahre seines Jahrhunderts. Er schreibt 1697, dieser Übergang sei „einige dreißig Jahre her“ (§ 28). Er meint damit also durchaus seine eigene Generation. 1646 geboren, ist er schließlich selbst einer der „jungen Leute“ dieses „gleichsam französischen Zeitwechsels“ (§ 28). Diese „Franzgesinnten“ so schreibt Leibniz, hätten „Frankreich gleichsam zum Muster aller Zierlichkeit aufgeworfen“ (§ 26).

Natürlich, möchte man sagen, was ist cooler als der *glamour*, der *sex appeal*, die Musik, die Kleidung, der *habitus* (*hexis*), kurz der *way of life* und natürlich die Sprache des Siegers? Aber gerade dadurch ist die deutsche Sprache in die Rappuse gegangen.

Nachdrücklicher noch als in den „Unvorgreiflichen Gedanken“ malt Leibniz den Niedergang des Deutschen in dem anderen berühmten Aufsatz über das Deutsche, in der „Ermahnung an die Deutschen“ von 1682.³ Die „Damen und Kavaliers“ (ED: 62f–63) haben in anderen europäischen Ländern in ihren Sprachen teil an wissenschaftlicher Kultur, weil man sich dort vom altmodischen Latein verabschiedet hat. Hier dagegen wenden sie sich vom Deutschen ab und dem Französischen als dem Modernen zu: Sklaverei und Blindheit seien die Folgen. Wir sind gezwungen, „unsere Art zu leben, zu reden, zu schreiben, ja sogar zu denken, nach fremdem Willen einzurichten“ (ED: 64). Ich gehe auf diese Schrift nicht näher ein, sie ist im wesentlichen Klage, während die „Unvorgreiflichen Gedanken“ ausführlicher den Weg aus dem Jammertal zeigen.

Zwar malt Leibniz auch in den „Unvorgreiflichen Gedanken“ eine düstere Zukunft: ein Verschwinden des Deutschen im Französischen (§ 20), Verlust der Freiheit und fremdes Joch (§ 21), Verdunkelung (§ 22), kurz: Rappuse. Dort – in der Rappuse – aber möchte Leibniz die deutsche Sprache nicht lassen. Leibniz ist ja bekanntlich kein Freund auswegloser Verzweiflung, gerade über seinen unerschütterlichen Optimismus mitten in der Rappuse wird sich ja Voltaire lustig machen. Deswegen schlägt Leibniz auch in dieser Katastrophe Tröstliches vor:

[...] so könnten wir das Böse zum Guten kehren und selbst aus unserem Unglück Nutzen schöpfen und sowohl unseren inneren Kern des alten ehrlichen Deutschen wieder hervorsuchen, als ihn mit dem neuen äußerlichen, von den Franzosen und anderen gleichsam erbeuteten Schmuck ausstaffieren. (§ 28)

Das ist die – trotz aller Klage – offene, liberale, vermittelnde und antipuristische Haltung Leibnizens in der Sprach-Frage: „den inneren Kern des Deutschen hervorsuchen“ und mit dem äußerlichen französischen Schmuck ausstaffieren. Zu diesem Zwecke schlägt Leibniz eine „Versammlung“, eine „Anstalt“ vor, die unserer Sprache „Glanz“ geben soll, sie „ausbessern, auszieren und untersuchen“ (§ 30, 31) soll. Diese soll aber nicht nur ein privater Verein sein, sondern von einem „hocherleuchteten vornehmen Haupt“ protegiert werden (§ 30). Er schlägt also eine *Académie allemande* vor.

2 *Deutsche Kultur und Sprache im 17. Jahrhundert*

Leibniz ist 1646, kurz vor Beendigung des Dreißigjährigen Krieges, in Leipzig geboren. Er wächst in einem völlig verwüsteten Land auf. Leipzig hat ein Drittel seiner Bevölkerung verloren. Zerstörung – Rappuse – und Krieg bleiben nicht ohne Eindruck auf einen jungen Mann in dieser Nachkriegszeit. Postreformatorsche Erschöpfung, konfessionelle Spaltung und Kleinstaaterei wirkten in Deutschland der Entstehung großer Literatur, Musik oder Malerei entgegen. In Italien, in Frankreich, in England, in Spanien – *siglo de oro* – und in den Niederlanden dagegen blüht die Kultur: die Musik, die Architektur, die Malerei, die Literatur. In Deutschland sind die kulturellen Anfänge des 16. Jahrhunderts offensichtlich in den religiösen Ausschweifungen verschwunden.

Auch die sprachliche Situation ist rückständig.⁴ Natürlich sprechen die Deutschen deutsch. Das definiert sie ja sogar. „Deutsch“ heißt ja nichts anderes als „die deutsche Sprache sprechend“. Und „deutsch“ ist auch immer noch, der Etymologie des Wortes entsprechend, „Sprache des Volkes“, *thiotisk*, germanisches *vulgare*, das heißt Deutsch ist Sprache der Nähe, der Familie, des Handwerks, des Volkes da „unten“, Vernakularsprache. Deutsch meint auch die Vielfalt der deutschen Dialekte, eine geschriebene deutsche Standardsprache setzt sich erst allmählich durch. In Deutschland herrscht vor allem noch die mittelalterliche Diglossie: Latein oben, Volkssprache unten. Die Wissenschaft, die Gelehrsamkeit, die Macht, das Recht sprechen und schreiben Lateinisch.

In den anderen großen Nationen – in Italien, in Frankreich, in England – hat sich dagegen die Volkssprache schon weitgehend gegen das Lateinische durchgesetzt, die Volkssprachen sind aufgestiegen in die hohen Diskurse. Vor allem in Frankreich wird auch „oben“, in prestigereichen

Redefeldern, französisch gesprochen: in der Wissenschaft, in der Philosophie, in den politischen Institutionen. Die Literatur blüht. Der König, die Macht, spricht schon lange kein Latein mehr, sondern französisch. Das ist 1539 in der Ordonnance von Villers-Cotterêts so festgelegt worden. Letzteres ist auch in Deutschland teilweise der Fall: Deutsch war immerhin – neben dem Lateinischen – eine der beiden Reichssprachen. Vor allem aber steigt das Französische in Wissenschaft und Philosophie auf. In Frankreich herrscht schon im 17. Jahrhundert oben und unten die Volkssprache. Und in Frankreich hat die Politik, die Volkssprache unter ihre Fittiche genommen. Richelieu gründet 1635 die *Académie française*.

In Deutschland dagegen hat sich die Situation des Deutschen insofern verschlechtert, als sich die alte Diglossie kompliziert: Oben wird zusätzlich zum Lateinischen jetzt auch noch französisch gesprochen und geschrieben. Leibniz hat es gesagt: Die Aristokratie geht ins Französische über. Sie findet das Französische eleganter, moderner, vornehmer. „Damen und Kavaliere“ sind aus dem Deutschen ausgestiegen. Das erniedrigt das Deutsche noch mehr, weil es nicht nur nicht in die hohen Diskurse einrückt, sondern auch noch gesellschaftlich absteigt. Die Welt, *le monde* – gesellschaftlich oben und geographisch weit – spricht und schreibt französisch. Deutsch kann also nicht wie die anderen europäischen Volkssprachen in die Diskurse der Modernität aufsteigen: vor allem nicht in den Diskurs einer modernen und mondänen Philosophie und Wissenschaft. Descartes schreibt den *Discours de la méthode* (1637) ausdrücklich gegen die lateinische Schule und für die Menschen mit „natürlicher Intelligenz“, das heißt gerade auch für die Frauen. Auch Galilei schreibt gegen die lateinische Gelehrtenwelt seinen *Dialogo* (1632) und die *Discorsi* (1638) auf Toskanisch, um die aktiven jungen Leute seiner Stadt (nicht die „Schule“) für die Wissenschaft zu erreichen. Bacon in England schreibt lieber auf Englisch als auf Latein. Locke, Leibniz’ Zeitgenosse, schreibt nur noch englisch. In Deutschland dagegen drängeln sich oben nun gar zwei Hochsprachen. Da oben ist fürs Deutsche kaum Platz.

Diese sprachliche Situation zeigt sich deutlich an Leibniz’ eigener Textproduktion: Er schreibt 40 % seiner Werke auf Lateinisch, 35 % auf Französisch, nur 25 % auf Deutsch. Wenn man allerdings auf die von Leibniz zum Druck gegebenen Arbeiten schaut, sieht der Anteil des Deutschen deutlich anders aus: Es gibt so gut wie nichts Gedrucktes von Leibniz in deutscher Sprache.⁵ Interessanter aber als die quantitative ist die inhaltliche und pragmatische Verteilung der Sprachen: Die im engeren Sinne wissenschaftliche und fachliche Produktion ist lateinisch, für die *doctores*. Der mondäne – und moderne – philosophische Diskurs wird auf Französisch geführt, für *le monde*, für das neue intellektuelle Publikum jenseits der lateinischen Gelehrtenwelt. Deutsch steht für das Praktisch-Politische, für die Politik-Beratung.

Diese funktionelle Aufteilung trifft auch für Leibniz’ Texte über die Sprache zu.⁶ Die gelehrten Schriften über die Sprache schreibt er auf Latein, so die *Brevis designatio* (1710) und fast die gesamten *Collectanea etymologica* (1717), die das sprach-historische Werk umfassen. Das Philosophisch-Exoterische ist auf Französisch verfasst: Leibniz’ Sprach-Philosophie und gleichzeitig sein wichtigster Text über die Sprache, das 3. Buch der *Nouveaux Essais* (1765). Die „Unvorgreiflichen Gedanken“, die „Ermahnung an die Deutschen“ und die „General-Instruction“ für die Akademie sind auf Deutsch geschrieben. Es handelt sich um politische Texte für die politischen Entscheider, also um Ratgeber-Texte. Von den genannten sprachbezogenen Texten wurde allein die *Brevis designatio* zu Leibniz Lebzeiten gedruckt, als erste Publikation dieser Akademie.

Zeigt diese Sprachwahl womöglich auch, dass Leibniz die Texte über das Deutsche nicht so wichtig waren? Wäre es ihm wichtig gewesen, hätte er auf Lateinisch über das Deutsche geschrieben und damit seine Pairs, die lateinisch schreibenden *doctores*, angesprochen. So hat Dante zum Beispiel – aber eben vierhundert Jahre vor Leibniz – seine Lobpreisung des Italienischen auf Lateinisch, für die anderen *doctores*, geschrieben: *De vulgari eloquentia*.

3 *Ausbau und Status des Deutschen und das Denken*

Das Deutsche befindet sich also zu Leibniz' Lebzeiten immer noch – oder wieder und mehr als in früheren Zeiten – unten in der Sprachhierarchie. Es ist Volkssprache (*vulgare*) und noch keine voll ausgebaute Kultursprache. Vor allem in den Wissenschaften ist es auszubauen, mehr als in der Literatur, wo es Leibniz zufolge ganz gut funktioniert (ED: 65). Viele wichtige Diskursfelder sind noch nicht entwickelt.

Leibniz erwähnt „das Sittenwesen, die Leidenschaften des Gemüts, den gemeinlichen Wandel, die Regierungssachen und allerhand bürgerliche Lebens- und Staatsgeschäfte“ (§ 15) als solche defektiven Diskursdomänen.

Ein Ausbau der deutschen Sprache in diesen Diskursfeldern brächte die erwünschte Erhöhung ihres Status bei den Damen und Kavalieren mit sich. Der Status des Deutschen ist auch aus politischen Gründen zu erhöhen, denn die deutsche Nation ist die Trägerin der Kaiserkrone, und ihre Sprache ist nicht auf der Höhe dieser Würde. Sie hat sich, wie Leibniz schreibt, „ihrer Würde würdig“ zu zeigen (§ 3).

Ausbau und Status-Erhöhung des Deutschen haben aber letztlich, wie könnte es anders sein, einen *philosophischen* Grund: Die Sprache ist der Spiegel des Verstandes. Mit dieser berühmten Feststellung und der an ihr festgemachten Notwendigkeit des Ausbaus und der Statuserhöhung beginnen die „Unvorgreiflichen Gedanken“:

§ 1. Es ist bekannt, dass die Sprache ein Spiegel des Verstandes ist und dass die Völker, wenn sie den Verstand hoch schwingen, auch zugleich die Sprache wohl ausüben, welches der Griechen, Römer und Araber Beispiele zeigen.

Es ist also nicht nur gesellschaftlich-kulturell und politisch geboten, sondern geradezu philosophische Pflicht, die Sprache wohl auszuüben, denn nur dann kann auch der Verstand hoch schwingen. Der berühmte entsprechende französische Satz aus den *Nouveaux Essais* konstatiert noch deutlicher die philosophische Bedeutung der Sprachen und begründet die Notwendigkeit ihrer Erforschung. Leibniz glaubt,

que les langues sont le meilleur miroir de l'esprit humain, et qu'une analyse exacte de la signification des mots ferait mieux connaître que toute autre chose les opérations de l'entendement (1765 : 290).

[dass die Sprachen der beste Spiegel des menschlichen Geistes sind und dass eine genaue Analyse der Bedeutung der Wörter besser als alles andere die Operationen des Verstandes erkennen ließe].

4 Arbeit am Wortschatz: Glanz, Reichtum und Reinigkeit

Die Wörter sind nach Leibniz „der Grund und Boden einer Sprache“ (§ 32). Daher muss vor allem am Lexikon gearbeitet werden. Um diese moderne Spracharbeit zu bewerkstelligen, wäre, wie gesagt, eine Versammlung, eine Anstalt unter fürstlicher Obhut angezeigt. Leibniz denkt hier an die *Académie française*. Deren Aktivitäten – und überhaupt die französische Sprachpflege – sind vorbildlich für das, was in Deutschland gemacht werden muss.

Die *Académie française* hat zwei Wörterbücher publiziert; das *Dictionnaire de l'Académie française* 1694 und das *Dictionnaire des Arts et des Sciences*, das Thomas Corneille 1694/95 herausgegeben hat. Im ersten stehen die Wörter des allgemeinen Gebrauchs, die *langue commune*, die der *honnête homme*, der nichtspezialistische Mann von Welt, kennt und benutzt. Das zweite enthält die Spezialwortschätze der Techniken und Wissenschaften. Das dritte, historische, Wörterbuch der französischen Sprache hatte Gilles Ménage schon 1650 mit den *Origines de la langue française* vorgelegt. Nach diesem Vorbild denkt nun auch Leibniz an eine dreifache Arbeit am Deutschen, die aus „Sprach-Brauch“, „Sprach-Schatz“ und „Sprach-Quelle“ bestehen soll: ein Wörterbuch für „durchgehende oder läufige“ Worte, eines für Kunst-Worte (also Wörter für die *arts et sciences*) und eines für die Geschichte der Wörter: ein Lexikon, ein *cornu copiae* und ein *glossarium etymologicum*. Vielleicht ist es nicht ganz falsch zu sagen, dass Leibniz sich als Gelehrter besonders für das *glossarium etymologicum* interessierte, also für den Sprach-Quell, mehr noch als für den Wort-Schatz, die Wörter der Techniken und Wissenschaften. Seine sprachhistorischen Interessen sind besonders ausgeprägt, wie das von Luckscheiter (2014) zusammengestellte Verzeichnis der Schriften zur Sprachforschung deutlich zeigt.

Was den Fachwortschatz angeht, den „Schatz“, so evoziert Leibniz die Expertise sämtlicher Handwerker und Künste (§ 52–55). Dass er auf die Bergmannssprache als ein im Deutschen besonders gut ausgebautes Redefeld hinweist, ist ja bekannt (§ 9).

Den größten Teil allerdings seiner „Unvorgreiflichen Gedanken“ (§ 56–112), widmet er dem „Brauch“, also dem „läufigen“ oder „gemeinen“ Wortschatz für die *honnêtes gens*. Dieser wird nach drei Gesichtspunkten hin befragt: hinsichtlich des *Glanzes*, des *Reichtums* und der *Reinheit*. Auch diese Fragen verweisen auf französische Modelle:

Was den *Glanz* angeht, so wird dieser ausdrücklich in der vielleicht berühmtesten Schrift zum Sprachlob der Volkssprachen gesucht: in der *Défense et illustration de la langue française* von Joachim Du Bellay (1549), mit dem Ausdruck *illustration*. Es ist das Ziel der „Verteidigung“ der Volkssprachen gegenüber dem Latein gewesen, die Volkssprachen ebenso glänzend zu machen wie das „illustre“ Latein. „Glanz“ ist schon das Ziel von Dantes Lobpreis der Volkssprache am Anfang des vierzehnten Jahrhunderts gewesen: In *De vulgari eloquentia* sucht Dante ein *vulgare illustre*, eine glänzende Volkssprache. Den Glanz behandelt Leibniz allerdings nur relativ kurz (§ 109–113), in einer allgemeinen Aufforderung, gutes Deutsch, nicht „schmutzig“ zu schreiben und dabei Opitz zu folgen.

Auch der *Reichtum* ist ein klassisches Thema der Verteidigungsschriften der Volkssprachen. Damit ist der *Ausbau* der Sprachen zu funktionsfähigen Instrumenten in möglichst vielen Gebrauchsdomänen gemeint. Schon Du Bellay macht Vorschläge zum Ausbau des Französischen. Den Reichtum behandelt Leibniz ausführlich in den § 57–76. Wie bei Du Bellay ist die *Übersetzung* eines der Mittel der Bereicherung, und zwar deswegen, weil sie mit der struk-

turellen Differenz zwischen den Sprachen zu tun hat und aus ihr Neuerungen für die eigene Sprache geschöpft werden können. Leibniz zeigt an dieser Stelle eine moderne Intuition von der strukturellen Differenz zwischen Sprachen:

§ 61. Nun glaube ich zwar nicht, dass eine Sprache in der Welt sei, die anderer Sprachen Worte jedesmal mit gleichem Nachdruck oder auch mit einem Worte geben könne.

Die Semantiken sind nicht deckungsgleich. Er hat, so schreibt er, seinen französischen Freunden gezeigt, dass das deutsche Wort *reiten* im Französischen kein Pendant hat. Diese so harmlos daher kommende Bemerkung basiert auf der Einsicht in die semantische Verschiedenheit von Sprachen. Sie verweist schon hier auf seine tiefste sprachphilosophische Einsicht überhaupt (die er aber erst in den *Nouveaux Essais* im Dialog mit John Locke zuende denkt und die dem französischen Satz vom *miroir de l'esprit* zugrundeliegt): Jede Sprache denkt die Welt, aber jede macht es anders.

Beim Punkt „Reichtum“ macht Leibniz einfach vernünftige Vorschläge, wie der Wortschatz ausgebaut werden kann: durch gute Wörter, durch schöne alte Wörter, durch Entlehnungen und durch Neologismen. Da er Entlehnungen durchaus begrüßt, ist er explizit antipuristisch, schlägt aber Übernahmen eher aus germanischen Sprachen vor als aus den romanischen.

Der dritte Punkt, die „Reinigkeit“, wird in Frankreich schon 1529 von Geoffroy Tory satirisch gegen das Lateinische verhandelt. Tory polemisiert gegen Studenten, die das Französische mit lateinischen Wörtern verunstalten, in Italien heißt diese Art von Sprache *maccaronico*. Leibniz erwähnt Tory nicht, wohl aber Henri Estienne (Henricus Stephanus) (§ 24), der 1578 eine wütende Polemik gegen das Italienische im Französischen geschrieben hat. Die *Académie française* hatte dann etwas später ausdrücklich die Aufgabe, die französische Sprache „pure et éloquente“ zu machen, rein und beredt. Dabei ist der Schmutz (das Wort *ordure* fällt ausdrücklich in diesem Zusammenhang), den die Akademie beseitigen soll, aber ein innerer: Das Französische ist vor allem von niedrigen und provinziellen Wörtern zu reinigen, nicht so sehr von fremden. Es geht in Frankreich nämlich darum, die Sprache der Pariser Aristokratie zur Norm zu machen. Auch Leibniz wehrt wie die *Académie française* eher niedrige und unverständliche Wörter ab als fremde. Er spricht sich für eine gemäßigte Verwendung fremder Wörter aus und für eine richtige Eingemeindung. Zu viele fremde Wörter allerdings findet auch Leibniz zerstörerisch. Seine weise Warnung vor allzu vielen Xenismen im § 93 sei daher hier zitiert: Die Schriftsteller hätten

dem einbrechenden Sturm der fremden Worte sich nicht zwar gänzlich, was vergebens wäre, doch gleichsam lavierend zu widersetzen, bis solcher Sturm vorüber und überwunden.

Als zweiten Aspekt der Reinigkeit diskutiert Leibniz die *grammatische* Richtigkeit. Reinheit geht in grammatische Korrektheit über. Hier ruft Leibniz dann das vierte große französische Buch über die Sprache aus dem Umfeld der *Académie française* auf: die *Remarques sur la langue française* von Vaugelas (1647). Dessen Zentralbegriff ist nicht „Reinheit“, *pureté*, sondern *le bon usage*, der gute Gebrauch. Vaugelas fragt nach dem Ort des *bon usage*. Er findet ihn am Hofe, „la plus saine partie de la Cour“, aber auch bei den Hoch-Gebildeten der Stadt: *la Cour et la Ville*. Die letzte Instanz des guten Gebrauchs sind bei Vaugelas übrigens die höfischen Frauen. Leibniz bleibt hier die Antwort schuldig. „Der Gebrauch ist der Meister“ schreibt er zwar im § 109, aber er sagt uns nicht, wo der deutsche *bon usage* sitzt.

Für einen solchen Ort gibt es nur Andeutungen. Einen Hof gibt es in Deutschland nicht, Wien und der Wiener Hof sind geographisch zu exzentrisch (während der Pariser Hof ja in der Mitte des Landes liegt). Damit entfällt auch die Orientierung an der Aristokratie. Aber wie in Frankreich gerade durch den Gebrauch der Volkssprache eine gebildete Klasse jenseits der lateinischen Gelehrtenwelt entstanden ist, so denkt auch Leibniz offensichtlich an „Hof- und Weltleute, ja selbst und zuvorderst das Frauenzimmer“ (ED: 57) und sogar an „niedrige Leute“ (ED: 59). Wir würden heute sagen: er hat eine bildungsorientierte Schicht als die Trägerin des *bon usage* im Blick.

5 Verteidigung

Leibniz verweist in seinen Gedanken über das Deutsche permanent auf die französische Sprachdiskussion. Dass seine „Verteidigung und Illustration der deutschen Sprache“ sich so stark an den entsprechenden französischen Werken orientiert, hat nicht nur mit seiner Zugehörigkeit zur französischen Kultur zu tun, sondern vor allem mit der strukturellen Parallele: Auch das Französische hatte sich – allerdings mehr als hundert Jahre zuvor – als Volkssprache gegen die höhere Sprache – in seinem Fall das Lateinische (und das Italienische) – „verteidigt“. Allerdings handelte es sich dabei eher um eine Offensive als um eine *défense*, denn das Französische war zu keinem Zeitpunkt seiner Geschichte wirklich gefährdet (bis jetzt, wo alle europäischen Sprachen gefährdet sind). Leibniz muss das Deutsche aber tatsächlich verteidigen, das in die Rappuse zu gehen droht, und er verteidigt es sogar gegen zwei hohe Sprachen, gegen das Lateinische und vor allem gegen das Französische. Im Französischen sieht er sogar den Abgrund, in dem das Deutsche verschwinden könnte. Dennoch bietet das Französische – mehr noch als das Italienische, auf das er ebenfalls verweist – auch das Modell, dem die Status-Erhöhung des Deutschen folgen muss. Als echter Verteidiger ist Leibniz auch weniger aggressiv als Du Bellay. Du Bellays *Défense* endet nämlich mit der Allegorie eines *Hercules gallicus*, der die anderen Völker und die Antike in die französische Sprach-Hörigkeit nach Paris ziehen soll, sie ist also gleichzeitig das sprachpolitische Manifest einer imperial-aggressiven Ausdehnung des Französischen. Leibniz will keinen germanischen Herkules. Aber Reichtum und Glanz will auch er. Leibniz braucht auch keinen antiitalienischen und antikatholischen Reinheitsfuror wie Henri Estienne. Einen „inneren deutschen Kern“ will jedoch auch er bewahren und einen *bon usage* à la Vaugelas etablieren. Vor allem aber wünscht er sich die drei Wörterbücher: ein Wörterbuch der allgemeinen Wörter, ein Wörterbuch der technischen Wörter, ein historisches Wörterbuch. Und er wünscht sich eine Akademie.

6 Die Akademie

Die Bücher hat er bekommen. Das Deutsche ist heute eine der am besten dokumentierten Sprachen der Welt, gerade auch durch die Aktivitäten der Berlin-Brandenburgischen Akademie. Sie beherbergt nicht nur das Deutsche Wörterbuch der Gebrüder Grimm, also die „Sprach-Quelle“, sondern auch das größte moderne Wörterbuch der deutschen Sprache mit dem *Digitalen Wör-*



Frontispiz und Titelblatt der *Miscellanea Berolinensia*

terbuch der deutschen Sprache (DWDS), „Sprach-Brauch“ und „Sprach-Schatz“ gleichermaßen. Eine deutsche Sprach-Akademie, eine *Académie allemande*, hat Leibniz aber nicht bekommen.

Die 1700 von ihm gegründete Sozietät der Wissenschaften hatte sich – offensichtlich auf Wunsch des Kurfürsten – von Beginn an der Wahrung und Förderung der deutschen Sprache verschrieben. Dies geht bereits aus der General-Instruction hervor:

So haben Wir Uns solchen Vorschlag nicht allein gefallen lassen sondern auch aus eigener bewegung denselben dahin gnädigst verbeßert, daß es zugleich eine Teutschgesinnete Societät seyn solle, welche sich den ruhm, wollfahrt und aufnahme der Teutschen Nation, gelehrsamkeit und Sprache vornemlich mit angelegen seyn laße. (Brather Hrsg. 1993: 96)

Und auf dem Frontispiz der *Miscellanea Berolinensia*, der ersten Publikation der Berliner Akademie, sehen wir unten in der Mitte ein Buch mit einem T und W und zwei S. T W und S S stehen für *Teutscher Wört- und SprachSchatz*. Dieses große Wörterbuch des Deutschen sollte die Berliner Akademie liefern. Dem Wörterbuch gegenüber – und es ergänzend – steht die Tafel der Mathematik. Die anderen allegorischen Gegenstände stehen für die Disziplinen, die die Berliner Akademie betreiben sollte. Anders als in Paris sollte die Spracharbeit also in innigster Verbindung mit den Wissenschaften stehen, die sich im Frontispiz der *Miscellanea Berolinensia* um die Minerva scharen. Die Berliner Akademie sollte die drei Pariser Akademien in einer vereinigen: die *Académie des sciences*, die *Académie des inscriptions* und die *Académie française*.

Geschehen ist dann aber etwas ganz Anderes, geradezu Unleibnizisches, nämlich die totale Rappuse des Deutschen durch das radikale „Franzenzen“ der Akademie durch Friedrich II.

Vierzig Jahre lang, von 1744 bis zum Tod des französischsprachigen Königs 1786, ist sie – völlig gegen die Vorstellung ihres Gründers – eine französische Institution gewesen, die am gleichzeitig stattfindenden deutschen kulturellen Aufschwung vorbeigeht. 1744 bis 1786, das ist die Zeit von Lessing, Herder, Goethe, Kant und Mendelssohn. Diese – Mendelssohn, den Meister der deutschen Sprache und Juden nahm man nicht auf – waren zwar auch alle auswärtige Mitglieder der *Académie royale*, ihre Sprache sprach und beförderte diese Institution jedoch nicht.

7 Nouveaux Essais: Sprach-Philosophie

Leibniz' kulturpolitisches Engagement für das Deutsche basiert auf einer Sprachphilosophie, die in den ersten Paragraphen seiner „Unvorgreiflichen Gedanken“ angedeutet wird. Ausgearbeitet ist diese Philosophie der Sprache im 3. Buch der *Nouveaux Essais*, die ja erst lange nach seinem Tod, 1765, veröffentlicht wurden. Diese Schrift hat das europäische Sprachdenken durch ihre Rezeption in Herder und Humboldt ganz entscheidend geprägt. En passant sei angemerkt, dass Leibniz' bedeutendstes französisches Werk so gut wie keine Wirkung in der französischsprachigen Welt hatte, in der deutschsprachigen aber das Sprachdenken wirklich revolutionierte. Es klang schon in den „Unvorgreiflichen Gedanken“ an: Die Sprache ist der Spiegel des Verstands. Das heißt, es geht bei der Sprache primär ums *Denken* und nicht, wie es die europäische Tradition seit Aristoteles will, ums *Kommunizieren*. Ganz Europa hatte Jahrtausende lang geglaubt, dass die verschiedenen Sprachen nur verschiedene *Laute* seien, mit denen die Menschen universell gleiche Vorstellungen mitteilen. Nun aber bemerkt Europa, dass Sprache und Denken aufs innigste miteinander verbunden sind. Das hat nicht Leibniz entdeckt, sondern seine englischen Vorgänger Bacon und Locke, mit dem er sich in den *Nouveaux Essais* ja Wort für Wort auseinandersetzt. Damit rückt die Sprache wieder dorthin, wo Platon sie diskutiert hatte: in die Theorie der Erkenntnis, in die theoretische Philosophie. Bacon und Locke hatten erkannt, dass die natürliche Sprache nicht nur ein Instrument der Mitteilung ist, sondern eine Form des Denkens, und damit, dass verschiedene Sprachen nicht nur verschiedene Laute sind, sondern dass sie verschiedene – und eher schlechte – Vorstellungen bilden. Das Denken der Menschen ist damit nicht mehr universell gleich, sondern von Sprache zu Sprache verschieden. Das ist natürlich eine Katastrophe für die Philosophie und die Wissenschaft, die ja doch universelle Wahrheiten produzieren möchten. Die Semantik der natürlichen Sprachen, die Wörter, sind nach Bacon *idola fori*, schlimme Götzen des Marktes, die wir exorzisieren müssen: „sunt abneganda et renuncianda“. Nach Locke sind sie Nebel vor unseren Augen, „a mist before our eyes“, den wir vertreiben müssen. Das heißt die Philosophen brauchen eine neue Sprache für die Wissenschaft, die Sprachen der Völker sind Feinde der Wahrheit. Und genau dieses sprachanalytische englische Lamento kehrt Leibniz um, er revolutioniert diese ewige europäische Missachtung der Sprachen, wenn er schreibt:

[Les langues] sont les plus anciens monuments du genre humain. On en registrera avec le temps et mettra en dictionnaires et en grammaires toutes les langues de l'univers, et on les comparera entre elles; ce qui aura des usages très grands tant pour la *connaissance des choses* [...] que pour la *connaissance de notre esprit et de la merveilleuse variété de ses opérations*. (Leibniz 1765/1966 : 293)

[Die Sprachen] sind die ältesten Denkmäler des Menschengeschlechts. Man wird mit der Zeit alle Sprachen des Universums aufzeichnen und in Wörterbücher und Grammatiken fassen, und man wird sie untereinander vergleichen, was sehr großen Nutzen sowohl für die *Kenntnis der Sachen* [...] als auch für die *Kenntnis unseres Geistes und der wunderbaren Vielfalt seiner Operationen* haben wird.

Theophil-Leibniz antwortet hier auf die Lockesche Klage über die schrecklichen Semantiken der natürlichen Sprachen, diesen Nebel vor unseren Augen: In der Tat, lieber Locke, sind die Bedeutungen der Wörter vom Volk geschaffene Vorstellungen. Sie sind keine wissenschaftlichen Begriffe. Aber sie sind kognitive Einheiten (*connaissances*). Und als solche sind sie kostbar, gerade auch weil sie von Sprache zu Sprache verschieden sind. Sie enthalten nämlich Erkenntnisse über die Sachen und unseren Geist „et de la merveilleuse variété de ses opérations“. Sie sind Vorstellungen der verschiedenen Völker von der Innen- und der Außenwelt, die wir in Wörterbüchern und Grammatiken aufschreiben und miteinander vergleichen müssen. Dies ist nichts weniger als die Erfindung der Linguistik, deren innerste Aufgabe es ist, den vielfältigen Geist der Menschheit in den Sprachen der Welt zu erfassen.

Diese Passage aus den *Nouveaux Essais* ist die Umkehr des Jahrtausende langen europäischen Gejammers über die Vielfalt der Sprachen: Diese ist keine Strafe Gottes, wie es der Babel-Mythos will, sondern kognitiver Reichtum und wunderbare Vielfalt.

Diese radikale Wende des europäischen Sprachdenkens basiert auf Leibniz' Hierarchie des Denkens, die er 1684 in den „*Meditationes de cognitione, veritate et ideis*“ aufgestellt hatte: Das Denken gründet im Dunklen und steigt allmählich auf zu den klaren Ideen, die konfus oder distinkt sein können, die letzteren dann entweder inadäquat oder adäquat. Das Wichtige an dieser Hierarchie ist, dass keine der Erkenntnisarten verachtet wird, dass alle ihren Beitrag zur Erkenntnis der Welt leisten und deswegen wichtig sind. So sind die Bedeutungen der Wörter zwar keine wissenschaftlichen Begriffe, sie sind nur *klar-konfus*, aber als solche enthalten sie durchaus „*connaissances des choses et de notre esprit*“.

In diese philosophische Wertschätzung aller Sprachen müssen wir Leibniz politisch-patriotische *défense et illustration* des Deutschen einschreiben. Weil er die spezifische und partikuläre Semantik von Sprachen schätzt, weiß er, was der Verlust einer Sprache ist: Das Deutsche – wie jede andere Sprache – ist nicht nur ein arbiträres – und deswegen gleichgültiges – Kommunikationsmittel, ein Klang, sondern es ist „unsere Art zu leben, zu reden, zu schreiben, ja sogar zu denken“ (ED: 64), eine bestimmte Art und Weise der Welterfassung, ein Teil jenes Spiegels des Geistes, die die Sprachen sind.

8 In die Rappuse gegangen

Dieses Land ist im zweiten Dreißigjährigen Krieg – 1914–45 – noch einmal gründlich in die Rappuse gegangen. Die Nachkriegszeit seitdem, also 1945 bis 2016, erinnert durchaus an Leibniz' Lebensspanne 1646–1716. Aber es ist natürlich auch alles anders als zu Leibniz' Zeiten: Deutschland hatte im 20. Jahrhundert eine große kulturelle und sprachliche Vergangenheit und Gegenwart – und nicht nur eine unsichere Zukunft wie um 1700. Die Literatur, die Philosophie und ziemlich viele Wissenschaften sprachen deutsch. Es schien daher, dass bei aller Verwüstung

die Kultur lebte, die Literatur vor allem. Die Sprache war noch da. Deutschland war in die Rappuse gegangen, das Deutsche nicht.

Jetzt – siebenzig Jahre nach der Katastrophe – zeigt sich: Das Land ist zwar wieder aufgebaut, es geht aber mit der Sprache bergab. Deutsch zieht sich aus den hohen Diskursen zurück, es erniedrigt sich immer mehr zur Vernakularsprache. Die englische Sprache besetzt die prestigereichen Diskursfelder. Die mittelalterliche Diglossie – oben die hohe Fremdsprache, unten das Vulgare – stellt sich wieder ein.

So wie die „jungen Leute“ im 17. Jahrhundert das Land „der französischen Mode und Sprache unterwürfig gemacht“ haben, so haben wir Amerika „zum Muster aller Zierlichkeit aufgeworfen“ (§ 26). Hinzu kamen die Globalisierung und deren sprachliche Zwänge. Aber der entscheidende Grund für die neue Rappuse der deutschen Sprache ist die tief verwurzelte Nachkriegs-Depression: Das Land war schuld an der Zerstörung Europas, am Genozid an den Juden, an Millionen Toten vor allem im europäischen Osten, an seinen eigenen Toten. Das Deutsche war die Sprache, die das alles begleitet hatte. Man möchte vor Scham vergehen. Die „Selbstverachtung“ und der „Ekel der deutschen Sprache und Sitten“, von denen Leibniz schreibt und die er bei seinen Zeitgenossen der „Unerfahrenheit“ zuschreibt (§ 26), kommt heute aus bitterstem und hellstem Wissen. Offensichtlich ist die allmähliche Aufgabe der Sprache der beste Weg, das „Deutsche“ in uns zum Verschwinden – in die Rappuse – zu bringen.

Philipp van Parijs hat in diesem Zusammenhang von „kindness driven agony“, von sanfter Selbstaufgabe, gesprochen (van Parijs 2011: 144): Ein Volk – aus welchen Gründen auch immer – legt keinen Wert mehr auf seine Sprache, sie verschwindet in einer anderen. Die keltischen Völker Galliens wollten Römer werden. Sie sind zum Lateinischen übergegangen. Die Bretonen wollten lieber Franzosen sein und haben ihre Sprache aufgegeben. Das Bretonische ging in die Rappuse mit der freundlichen Zustimmung seiner Sprecher. Den Sprechern dieser untergegangenen oder untergehenden Sprachen wird von einer gnadenlosen politischen Philosophie bescheinigt: „There is nothing wrong with linguistic suicide“ (De Schutter in van Parijs 2011: 168). Dagegen nützen keine Ermahnungen an die Deutschen. Aus dieser Depression holt uns keiner raus. Unvorgreifliche Gedanken greifen ins Leere.

Anmerkungen

1. Ich zitiere die beiden das Deutsche betreffenden Aufsätze nach der Reclam-Ausgabe Leibniz (1983): bei den „Unvorgreiflichen Gedanken“ führe ich die Leibnizschen Paragraphen, bei der „Ermahnung an die Deutschen“ (ED) die Seitenangaben an.
2. 1717 zuerst gedruckt.
3. Sogar erst 1846 zum ersten Mal gedruckt.
4. Vgl. von Polenz (1994).
5. Vgl. Leibniz (1916).
6. Die gesamte riesige Textproduktion zum Sprachthema dokumentiert Luckscheiter (2014). Ich erwähne hier nur die bekanntesten Texte.

Abbildungsnachweis

Abb. 1: Bibliothek der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

Literatur

- Académie française (Hrsg.) (1694). *Dictionnaire de l'Académie françoise*. 2 Bde. Paris: Coignard.
- Antoine, Annette (2014). „Sprachpolitik und Sprachkritik: Zur Geschichte und Aktualität von Leibniz' *Ermahnung an die Deutsche, ihren verstand und sprache besser zu üben*“. In: Li (Hrsg.) (2014: 151–164).
- Aristoteles (1994). *Peri hermeneias*. Hrsg. von Hermann Weidemann. Berlin: Akademie-Verlag.
- Brather, Hans-Stephan (Hrsg.) (1993). *Leibniz und seine Akademie. Ausgewählte Quellen zur Geschichte der Berliner Sozietät der Wissenschaften 1697–1716*. Berlin: Akademie Verlag.
- Cornille, Thomas (1694/95). *Dictionnaire des Arts et des Sciences*. 2 Bde. Paris: Coignard (Nachdruck Genève: Slatkine 1968).
- Dante Alighieri (1979). *De vulgari eloquentia*. In: Dante Alighieri: *Opere minori* II. Hrsg. von Pier Vincenzo Mengaldo. Milano–Napoli: Ricciardi, S. 1–237.
- Du Bellay, Joachim (1549). *La deffense et illustration de la langue francoyse*. Hrsg. von Henri Chamard. Paris: Fontemoing 1904.
- Estienne, Henri (1578). *Deux dialogues du nouveau langage françois italianizé*. 2 Bde. Paris: Liseux 1883.
- Gensini, Stefano (1991). *Il naturale e il simbolico. Saggio su Leibniz*. Rom: Bulzoni.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm ([1684] 1985). „Mediationes de cognitione, veritate et ideis“. In: *Kleine Schriften zur Metaphysik*. Hrsg. von Hans Heinz Holz. 2 Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft, S. 25–47.
- (1710). „Brevis designatio meditationum de Originibus Gentium, ductis potissimum ex indicio linguarum“. In: *Miscellanea Berolinensia ad incrementum scientiarum*. Berlin: Johan. Christ. Papeii, S. 1–16.
- ([1717] 1970). *Collectanea etymologica*. 2 Bde. Hrsg. von Johann Georg Eccard. Hannover: Foerster. Nachdruck Hildesheim/New York: Olms.
- ([1765] 1966). *Nouveaux essais sur l'entendement humain*. Hrsg. von Jacques Brunschwig. Paris: Garnier-Flammarion.
- (1916). *Deutsche Schriften*. Hrsg. von Walter Schmied-Kowarzik. 2 Bde. Hamburg: Meiner.
- (1983). *Unvorgreifliche Gedanken, betreffend die Ausübung und Verbesserung der deutschen Sprache. Zwei Aufsätze*. Hrsg. von Uwe Pörksen. Stuttgart: Reclam.
- Li, Wencho (Hrsg.) (2014). *Einheit der Vernunft und Vielfalt der Sprachen. Beiträge zu Leibniz' Sprachforschung und Zeichentheorie*. Stuttgart: Steiner.
- Locke, John ([1690] 1971–74). *An Essay Concerning Human Understanding*. 2 Bde. Hrsg. von John W. Yolton. London: Dent/New York: Dutton.
- Luckscheiter, Stefan (2014). „Leibniz' Schriften zur Sprachforschung“. In Li (Hrsg.) (2014: 317–432).
- Ménage, Gilles (1650). *Les origines de la langue françoise*. Paris: Augustin Courbe.
- Parijs, Philipp van (2011). *Linguistic Justice for Europe and for the World*. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Polenz, Peter von (1994). *Deutsche Sprachgeschichte vom Spätmittelalter bis zur Gegenwart*. Band II. 17. und 18. Jahrhund. Berlin, New York: de Gruyter.
- Schulenburg, Sigrid von der (1973). *Leibniz als Sprachforscher*. Hrsg. von Kurt Müller. Frankfurt am Main: Klostermann.
- Tory, Geoffroy (1529). *Champ fleury ou l'art et science de la proportion des lettres*. Hrsg. von Gustave Cohen. Paris 1931 (Nachdruck Genève: Slatkine 1973).
- Trabant, Jürgen (2003). *Mithridates im Paradies. Kleine Geschichte des Sprachdenkens*. München: Beck.
- Vaugelas, Claude Fravre de (1647). *Remarques sur la langue française*. Paris: Ivrea 1996.
- Weimann, Karl-Heinz (1966). „Leibniz als Sprachforscher“. In: Wilhelm Totok und Carl Haase (Hrsg.). *Leibniz. Sein Leben – sein Wirken – seine Welt*. Hannover: Verlag für Literatur und Zeitgeschehen, S. 535–552.

Universalschrift und natürliche Sprachen

Sprache und Sprachen, Zeichen und Zeichensystemen hat Gottfried Wilhelm Leibniz, der geistreichste Sprachforscher des 17. Jahrhunderts, ein außerordentliches Interesse entgegengebracht. Seine Beschäftigung mit ihr und ihnen erstreckt sich auf fast alle Aspekte und Bereiche der Sprachforschung und Zeichentheorien seiner Zeit und war auf mannigfache Weise eng mit anderen Aspekten seines Denkens verbunden¹.

Dem Gewicht des Themas und der Vielfalt der Forschungsansätze steht allerdings eine sehr unbefriedigende und gar missliche Situation der Quellenerschließung und Textaufbereitung gegenüber: Auch wenn mit den in der Reihe I der Akademie-Ausgabe (Leibniz seit 1923)² bisher publizierten Briefen³, den in der Reihe IV⁴ edierten sprach- und wissenschaftspolitischen Schriften und den in der Reihe VI veröffentlichten Schriften zu *Scientia generalis*, *characteristica* und *calculus universalis*⁵ bereits zahlreiche Quellentexte historisch-kritisch erschlossen vorliegen, die für die Edition der sprachwissenschaftlichen und historischen Schriften von Leibniz vorgesehene fünfte Reihe der Ausgabe ist noch nicht einmal begonnen worden!

Mehr als ein Jugendtraum

Lebenslang hat Leibniz sich mit dem Projekt einer Universalschrift (*characteristica* oder *scriptura universalis*) beschäftigt. Dabei handelt es sich, wie er selbst in einem Fragment aus dem Sommer 1688 schreibt, um

die Kunst, Zeichen (*characteres*) so zu bilden und anzuordnen, dass sie die Denkinhalte wiedergeben, was besagt, dass sie untereinander in derselben Beziehung stehen wie die Denkinhalte. (Leibniz seit 1923: VI, 4 A, 916)

Als „wahres Instrument (*verum Organon*)“ (Leibniz seit 1923: VI, 4, N. 192; Leibniz 2000: 19) dient sie zur Bildung einer Universalwissenschaft (*Scientia generalis*), die das gesamte menschliche Wissen darstellen und fundieren sollte. Im Unterschied zu, aber sicherlich auch hervorgegangen aus den früheren und zeitgenössischen Konzepten einer Universalsprache, etwa bei Raimundus Lullus, Athanasius Kircher, Johann Heinrich Alsted, George Dalgarno und John Wilkins, erhebt das Leibniz'sche Projekt den Anspruch, über die mnemonische und kommunikative Funktion hinaus erkenntnistheoretische Leistungen erbringen zu können, denn sie, die Universalschrift, soll zugleich als Instrument der Erfindungskunst (*ars inveniendi*) und der Urteilkunst (*ars iudicandi*) funktionieren. Hierin, in der Überzeugung vom Denken als Operieren mit Zeichen und von der Angewiesenheit des menschlichen Denkens auf die die Ideen und Dinge vertretenden Zeichen (Leibniz seit 1923: IV, 4 A, 587; Leibniz 1831: §6; Leibniz seit 1923: VI, 6, 533–534), liegt

die zentrale Rolle begründet, die Leibniz Zeichen, Zeichensystemen und Zeichentheorien in seiner Philosophie zuspricht.

Das Projekt ist seit je viel belächelt worden; dabei handelt es sich, Leibniz zufolge, weder um einen, etwa nur bis 1690 andauernden Jugendtraum noch weniger um eine Utopie⁶, wie es in der Forschung und nicht nur hier oft unachtsam behauptet wird. Von der Leistungsfähigkeit, aber auch von der Durchführbarkeit des Projektes, sogar in einem überschaubaren Zeitraum, war Leibniz bis zuletzt überzeugt: In seinem Brief an Antoine Verjus, Prokurator der französischen China-Mission in Paris, bedauert Leibniz zutiefst, dass es ihm an Muße fehle und dass er niemand habe, der ihn bei der Arbeit unterstützen könnte, „deshalb habe ich mein Projekt [der *characteristica universalis*] noch nicht verwirklichen können“ (Leibniz seit 1923: I, 14, N. 472; Leibniz 2006: 132–133). Knapp zwei Jahre vor seinem Tod im November 1716 schrieb Leibniz in seinem Brief an Nicolas Rémond vom 10. Januar 1714, dass er die Hoffnung hätte, wäre er weniger abgelenkt worden oder wäre er noch jünger oder hätte er die Hilfe junger, begabter Leute,

eine Art allgemeine Richtigkeitslehre herauszubringen, in der alle Vernunftwahrheiten auf eine Art Rechnung zurückgeführt werden würden. Das könnte gleichzeitig eine Art universale Sprache oder universale Schrift sein, aber unendlich verschieden von all denen, die man bis heute vorgeschlagen hat; denn die Zeichen und die Worte selbst würden hier die Vernunft leiten, und die Irrtümer (mit Ausnahme derer über eine Tatsache) wären hier nur Rechenfehler.

Darüber, dass es sich um kein einfaches Projekt handelt, war Leibniz sich bewusst:

Es wäre sehr schwierig, diese Sprache oder Charakteristik zu bilden oder zu erfinden, wohl aber sehr leicht, sie ohne irgendwelche Wörterbücher zu erlernen. (Leibniz seit 1849: III, 605; Leibniz 1990: V, 319)

Dinge, Ideen, Zeichen, Kalkül

Menschliches Denken ist nach Leibnizens Überzeugung auf Zeichen angewiesen, und logisches Denken nichts weiter als Operieren mit Zeichen. „Alles menschliche Denken geht mit Hilfe von Zeichen (*signa*) oder Charakteren (*characteres*) vor sich“ (Leibniz seit 1923: VI, 4 A, 918), etwa wenn wir mit „ $A = A$ “ das Prinzip der Identität darstellen und ausdrücken.

Was sind aber Zeichen? Beim Wort Zeichen denken wir gewohnt an ein Objekt (*res*), auf das es sich bezieht, und an eine Bedeutung (*notio*), die dieses Zeichen unabhängig vom Objekt besitzt. Mit Objekt (*res*) sind allerdings nicht raumzeitliche konkrete Gegenstände gemeint, sondern bereits deren Verständnis oder Begriffe und Ideen aus der *Regio idearum*. Der von Leibniz projektierte Aufbau der Zeichen setzt daher eine genaue Analyse genau der Idee bzw. deren Struktur voraus; diese Analyse, im Sinne von – auf Deutsch gesagt – systematischer Untersuchung eines Gegenstandes oder Sachverhaltes hinsichtlich aller einzelnen Komponenten oder Faktoren, die ihn bestimmen, setzt wieder voraus, dass die Begriffe, die es zu analysieren gilt, komplex (aus einfachen Begriffen) zusammengesetzt sind. Die Analyse ist so lange fortzusetzen, bis man zu den Grundbegriffen bzw. Grundaussagen gelangt, den so genannten „*prima possibilia ac notiones irresolubiles*“ [ersten Möglichkeiten und unauflösblichen Begriffen] (Leibniz seit 1923:

VI, 4 A, 590), die Leibniz oft auch das „Alphabet der menschlichen Gedanken“ (Leibniz seit 1923: VI, 4 A, 84, 158, 265, 270, 538, 560, 911, 974)⁷ nennt; ist dies nun einmal gefunden, könnten aus ihnen sämtliche widerspruchsfreie komplexe Begriffe erzeugen bzw. beurteilen werden: „Literarum hujus Alphabeti combinatione [...] omnia [...] inveniri et dijudicari possent“ [[dass] durch Verknüpfung der Buchstaben dieses Alphabetes [...] alle [Dinge] [...] entdeckt und beurteilt werden können] (Leibniz seit 1923: VI, 4 A, 265).

Erst jetzt, nachdem die Analyse der Ideen vollendet ist, kämen Zeichen im eigentlichen Sinne ins Spiel. Diese entstehen, wenn man den analysierten Begriffen jeweils Zeichen zuweist. Dabei ist zu beachten, dass einem Begriff in einem Zeichensystem nur ein, und zwar ihm allein zugehöriges Zeichen zugeordnet wird bzw. dass eine eindeutige Zuordnung zwischen einem Zeichen und einem (seinem) Begriff besteht.

Nun kann es verschiedene Zeichensysteme geben: Zu den Zeichen zählt Leibniz, in der Schrift *Fundamenta calculi ratiocinatoris* (Sommer 1688), unter anderem

die Buchstaben, die chemischen, die astronomischen, die chinesischen, die hieroglyphischen Figuren, die Noten der Musik, die geheimschriftlichen, arithmetischen, algebraischen [Zeichen] sowie all die anderen, die wir beim Denken anstelle der Dinge gebrauchen. (Leibniz seit 1923: VI, 4 A, 918–919; Leibniz 2000: 18–19)

Zumeist wählt Leibniz jedoch als Zeichen Buchstaben, etwa A ist in B für ‚der Begriff Lebewesen (A) ist im Begriff Mensch (B) enthalten‘, oder Primzahlen für die Grundbegriffe, für die aus ihnen zusammengesetzten komplexen Begriffe die aus den Primzahlen gebildeten Zahlen, etwa für den Begriff „Rappe“ (schwarzes Pferd) $3 \cdot 5$ also 15, wobei ‚schwarz‘ durch 3 und ‚Pferd‘ durch 5 charakterisiert werden (Poser 2016: 369). Das Verfahren der Analyse und der Kombination wird Kalkül genannt, ein Kalkül, „der wichtiger als der arithmetische und der geometrische“ sei und der „auf der Analyse der Ideen“ beruhe: nämlich auf der Kunst der Universalzeichen, deren Erstellung ihm als eine der wichtigsten Aufgaben erscheine, die man sich nur stellen könnte (Leibniz seit 1849: IV, 571; Knobloch 2016: 323–340).

Auf den großen Nutzen des Projektes sei noch hingewiesen: „Meine Erfindung“, so Leibniz in einem Brief vom April 1679 an Herzog Johann Friedrich,

umfasst den Gebrauch der gesamten Vernunft, einen Richter für alle Streitfälle, einen Erklärer der Begriffe, eine Waage für die Wahrscheinlichkeit, einen Kompass, der uns über den Ozean der Erfahrungen leitet, [...] einen generellen Kalkül, [...] eine Schrift, die jedermann in seiner Sprache liest; und sogar eine Sprache, die man in nur wenigen Wochen erlernen kann und die bald in der ganzen Welt Geltung haben wird. (Leibniz seit 1923: I, 2, N. 172, S. 168; Antoine 2016: 48)

In der wahrscheinlich in Wien 1688 entworfenen allgemeinen Einführung zu seiner Universalwissenschaft schlug Leibniz vor, die besten europäischen Gelehrten aus allen wissenschaftlichen Disziplinen zusammenzuführen. Damit sollten sämtliche wissenschaftlichen Erkenntnisse der Zeit abrufbar gemacht werden; es sollten die wissenschaftlichen Methoden und die Bedingungen für die ständige Steigerung und Verbreitung dieser Erkenntnisse geklärt und auf diese Weise die Menschheit befähigt werden, sich zu vervollkommen und zu wirklichem Glück zu gelangen (Leibniz seit 1923: VI, 4 A, 981). Formulierungen wie diese liest man heutzutage oft mit Unbehagen und Skepsis; falsch werden sie allerdings dadurch nicht!

Einen handfesten Nutzen sieht Leibniz zudem für die Verbreitung des Christentums in China:

Der neue philosophische Kalkül dieser *spéciouse universelle* wäre in seiner Unabhängigkeit von jeglicher Sprache ein wunderbares Hilfsmittel, um selbst den fernsten Völkern (wie den Chinesen und ihresgleichen), deren Sprachen sich so stark von unseren [den europäischen] unterscheiden, die wichtigsten und abstraktesten Wahrheiten der natürlichen Religion nahezubringen. (Leibniz seit 1923: I, 14, N. 472; Leibniz 2006: 132–133)

Rationale Grammatik

Bevor wir uns Leibnizens Beschäftigung mit den natürlichen Sprachen zuwenden, sei kurz auf das Projekt einer rationalen Grammatik eingegangen, einer Vorstellung, die dem heutigen Esperanto in seiner Grundausrichtung sehr nahe kommen dürfte. Von den formalen Kalkülen aus gesehen, weisen die natürlichen Sprachen einige Mängel auf: sie sind oft mehrdeutig, ihre Begriffe sind unscharf, die grammatikalischen Regeln fassen auf der einen Seite den Regelfall zusammen, müssen auf der anderen zahlreiche Ausnahmefälle zulassen. Dies hat Leibniz zu dem verwegenen Plan einer *Grammatica rationis* geführt, einer Art Umgangssprache für gesicherte Erkenntnis. Hierzu sind die Wörter so zu wählen, dass nur sinnvolle Verbindungen möglich sind. Ähnlich dem heutigen Esperanto mit den Wörtern aus überwiegend unveränderlichen, aneinandergefügt Wortelementen, sollte die Grammatik ganz einfach sein, ohne alle überflüssigen Formen: Substantive und Adjektive sollten zusammengeführt werden, Verben sollten als grammatische Form ganz wegfallen, so dass Aussagen allein in einer Substantiv-Kopula-Adjektiv-Verbindung bestehen (Leibniz seit 1923: VI, 4 A, 112–113; VI, 4 A, 642–644; VI, 4 A, 879–881). Alle für eine solche Darstellung überflüssigen Sprachelemente – Synonyme und die Mehrzahl der grammatischen Formen und Wortarten – können entfallen. Komplexe Sätze sollen dann auf eine Verknüpfung einfacher Sätze reduziert werden. So könnte man die *Grammatica rationis* als einen dritten Typ zwischen der noch zu entwickelnden Universalschrift auf der einen und der Forschung der natürlichen Sprachen auf der anderen Seite sehen.

Auch hier war Leibniz ein Kind seiner Zeit; ähnliche Versuche findet man in John Wilkins' „natural grammar“ und in der „Grammaire générale et raisonnée“, der so genannten *Grammaire de Port Royal* von Claude Lancelot und Antoine Arnauld. Im Unterschied zu seinen Zeitgenossen ist die Logik für Leibniz keine vollendete, bloß auf die natürlichen Sprachen anzuwendende Theorie. Durch eine Untersuchung der natürlichen Sprachen sollen gerade gewisse Muster herausgefunden werden, für die eine Vervollständigung der Logik erforderlich und nützlich sein könnte. In Leibnizens Projekt spielt die rationale Grammatik eine kritische Rolle; ihre Aufgabe besteht darin, die natürlichen Sprachen mit der logischen Form zu verbinden.

Natürliche Sprachen

Hatten die drei einflussreichsten Leibniz-Forscher zu Beginn des 20. Jahrhunderts, Ernst Cassirer, Bertrand Russell und Louis Couturat (1903), noch mehr oder weniger gemeinsam die

These vertreten, Leibnizens Interesse habe ausschließlich den Formalsprachen und der Sprache als „Instrument der logischen Analyse“ (Cassirer 2001: 71) gegolten (Haßler 1999: 167–168), war spätestens durch Kurt Müllers Herausgabe von Sigrid von der Schulenburgs *Leibniz als Sprachforscher* (Schulenburg 1973) eine differenzierte Sicht eingeleitet worden. In der Tat hat sich Leibniz, und zwar von Beginn an, mit Sprachen und Sprachgebrauch zumal in der Wissenschaft auseinandergesetzt. Man denke etwa an die im Jahre 1670 verfasste Vorrede zu der von ihm besorgten Neuausgabe von Marius Nizolius' *De veris principiis et vera ratione philosophandi* (Leibniz seit 1923: VI, 2 N. 54), in der der dichterische Sprachgebrauch im Allgemeinen und die „elegantia orationis“ im Besonderen behandelt werden. Zu einem lobenswerten philosophischen Stil gehört nach dem damals gerademal 24-Jährigen dreierlei: Klarheit, Wahrhaftigkeit, Zierlichkeit – „claritas, veritas et elegantia“ (Leibniz seit 1923: VI, 2, 408). Klar ist, was gut verstanden wird; wahrhaftig ist eine Rede, wenn aus ihr alle Lehrsätze des richtigen Schlussverfahrens erwiesen werden können; „Zierlich ist ein Stil, der beim Hörer oder Leser erfreulich wirkt“ (Leibniz seit 1923: VI, 2, 409).

So ist schon früh die geradezu fundamentale Bedeutung erkennbar, die Leibniz der Sprache und Sprachpflege für den Erkenntnisgewinn und den von der Vernunft geleiteten Gebrauch des Verstandes beimisst, wie später seine sprachphilosophisch wie erkenntnistheoretisch orientierte Auseinandersetzung mit der empiristischen Position Lockes im 3. Buch der *Nouveaux Essais* nochmals unterstreicht. Wie die *Characteristica* mit dem Anspruch einer *ars judicandi* soll die Sprache nicht nur unsere Gedanken zum Ausdruck bringen und so kommunizieren, sondern auch „unsern Gedanken selbst [...] helfen“ und uns ermöglichen, „selbst-Gespräch“ zu führen (Leibniz 1831: § 5; Leibniz seit 1923: IV, 6, 533), denn die Sprache sei, so die bekannte, von ihm immer wieder benutzte Metapher, „ein Spiegel des Verstandes“! (Leibniz seit 1923: IV, 6, 532; VI, 6, 791; IV, 3, 812)

Sprachen und Geschichte

Im Unterschied zum künstlichen System der *Characteristica universalis* sind die natürlichen Sprachen historische Phänomene. Als solche sind sie geschichtlichen Veränderungen, zufälligen Vermischungen, wenn zwei Sprachen aufeinander treffen, und Bedeutungserweiterungen, etwa durch Metaphern, Synekdochen und Metonymien, unterworfen. In diesem Sinne sind natürliche Sprachen, da sie noch vor Schriften, Kunst und Technik entstanden waren, „die ältesten Denkmäler der Völker“ (Leibniz 1985: §2; Leibniz seit 1923: VI, 6, 285), und eine grundlegende Bedeutung kommt dabei, wie in der formalen Sprache, den absolut einfachen, nicht weiter zerlegbaren Begriffen den „Wörtern“ als „Grund und Boden“ zu, „daraus die Redens-Arten gleichsam als Früchte herfür wachsen“ (Leibniz 1831: 2, §32; Leibniz seit 1923: IV, 6, 541).

Ein zentrales Motiv sprachwissenschaftlicher Forschung von Leibniz ist seine historiographische Tätigkeit im Dienste des Welfenhauses. Folglich nehmen seine historischen und, damit eng verbunden, seine sprachwissenschaftlichen Arbeiten einen wichtigen Platz in seinem ganzen Œuvre ein. Das gängige Verständnis der Sprachforschung als eine Art historischer Hilfswissenschaft im Dienste eines besseren Quellenverständnisses scheint vor diesem Hintergrund zu eng zu sein. Vielmehr sollen und können nach Leibniz die Sprachen als die ältesten Zeugnisse der

Menschheitsgeschichte an die Stelle der Bücher treten und Auskünfte geben über diejenigen frühen Zeiten, für die schriftliche und archäologische Quellen fehlen. In der jüngeren Forschung hat die Aufmerksamkeit für sein Wirken als Geschichts- und Sprachwissenschaftler mit Recht stark zugenommen.

Eine Erforschung der Geschichte einer Sprache, vor allem der Geschichte der Wörter, würde nicht nur die Verwandtschaft der Sprachen untereinander, sondern auch die Verwandtschaft der Völker erschließen und das in den Sprachen bewahrte Wissen früherer Zeiten und anderer Menschen zugänglich machen. Denn die Geschichte der Sprache bzw. der in der Sprache zum Ausdruck kommenden, den menschlichen Interessen und Bedürfnissen entsprungenen Ordnung ist zugleich die Geschichte der menschlichen Kultur und ihrer Entwicklungen und Entdeckungen (Leibniz 1985: I, § 5; Leibniz seit 1923: VI, 6, 276)⁸. Hierin liegt letztendlich Leibniz' Interesse an methodologisch hinreichend abzusichernder etymologischer Wort- und insbesondere Ortsnamensforschung, an Dialekten, Idiolekten, Mundarten, an der Sammlung von Sprachproben und am Sprachvergleich nach dem Prinzip des „non per saltum“⁹ begründet.

Sprachliche Vielfalt und die Lingua Adamica

Der Hinweis auf die Historizität, die Vielfalt und den geistigen, kulturellen wie zivilisatorischen Reichtum und die anthropologischen Anfänge der natürlichen Sprachen steht in gewisser Spannung zu dem damals in Europa geführten Diskurs über den Ursprung der Sprache. Leibniz scheint dabei von dem monogenetischen Ursprung aller Sprachen der Völker auszugehen und die *eine* Ursprache angenommen zu haben. Denn

es ist offensichtlich genug, dass fast alle Sprachen der Welt [...] eine beträchtliche Übereinstimmung untereinander besitzen und aus einer gemeinsamen Quelle zu stammen scheinen.
(Leibniz seit 1923: I, 7, 399; Leibniz 2004: 359)¹⁰

Zugleich hält er aber daran fest, dass diese Sprache für immer verlorengegangen und eine Rekonstruktion nicht mehr möglich sei: „Lingua Adamica [...] nobis certe ignota est“ [Die adamtische Sprache [Ursprache] [...] ist uns gewiss unbekannt] (Leibniz seit 1923: VI, 4 A, 919). Hinzu kommt, dass die ursprüngliche adamtische Sprache, selbst wenn sie sich rekonstruieren ließe, zu einfach wäre, als dass sie den späteren Generationen genügt hätte (Leibniz 1991: §22). An die Stelle der ursprünglichen Vollkommenheit ist daher, statt Chaos und Verwirrung, die Vielfalt der Sprachen und der Zeichensysteme getreten. Und der Gedanke der Vielfalt, der gerade bei Leibniz eine tragende Rolle spielt, zwingt zu einer anderen, mehr anthropologisch geleiteten Deutung der Sprachvielfalt als Vielfalt der Kulturen, zu einer Abkehr von dem Verständnis der Sprachvielfalt als Sprachverwirrung im Sinne einer Strafe für den Hochmut der Menschheit. So sind die überlieferten natürlichen Sprachen teilweise aus dem Ursprung der einen Sprache und teilweise aus dem neuen Gebrauch der Sprache selbst (Leibniz seit 1923: VI, 4 A, 59), entstanden. Diese Ursprünglichkeit erlaubt die Annahme einer gemeinsamen Basis so genannter Wurzelwörter. Mit dem Hinweis auf die Gebräuchlichkeit lassen sich verschiedene, wenn nicht alle Sprachen zum

einen als Derivate der Wurzelwörter zum anderen als Ergebnis einer Wechselwirkung zwischen Erkenntnisentwicklung (Denkinhalt) und Sprachentwicklung (Neologismen) erklären.

Die auf Leibniz zurückgehende historisch-vergleichende Sprachkunde hat bei der Entwicklung der Ethnographie und Ethnologie in Europa im 18. Jahrhundert eine grundlegende Rolle gespielt. Ein bedeutender Bestandteil aller Forschungsreisen, vor allem im asiatischen Teil Russlands, war in der Tat das Sammeln von Sprachproben gewesen. Gelehrte und Abenteurer wie Daniel Gottlieb Messerschmidt (1685–1735), Philipp Johann Tabbert von Strahlenberg (1676–1747), Gerhard Friedrich Müller (1705–1783), Peter Simon Pallas (1741–1811) und August Ludwig von Schlözer (1735–1809) berufen sich bei ihren Unternehmungen und Forschungen ausdrücklich auf Leibniz' Initiative der historischen Sprachforschung und auf seine zahlreichen Denkschriften für Peter den Großen, in denen Sammlung von Sprachproben und vergleichende Sprachforschung ein ständiges Thema war. Es ist kein Wunder, dass Leibniz in der Forschung als „Altvater“ der deutschen Philologie und Lexikographie und der westlichen vergleichenden Sprachwissenschaft gewürdigt wird (Gensini 2014: 28). Was Leibniz jedoch von einer simplen Übertragung der „Linnei *Philosophia botanica*“ auf ein „*Systema Populorum in Classes et Ordines, Genera et Species*“ [System der Völker in Klassen und Ordnungen, Gattungen und Arten] anhand der Sprachen, die „für den Geschichtsforscher“ das seien, „was die Staubfäden für den Kräuterlehrer seyen“, gehalten hätte, muss offen bleiben.

Chinesische Sprache und Schrift

Die Bekanntschaft mit außereuropäischen Kulturen, Sprachen und Zeichen infolge sogenannter Missionsbewegungen und Entdeckungsreisen bedeutet ohne Zweifel eine epochentypische Herausforderung an die Missionare, die Reisenden sowie an die Intelligenz generell. Um diese Sprachen einzuordnen, zu beschreiben und zu klassifizieren, war man auf die weitgehend von der griechisch-lateinischen Tradition bereitgestellten Termini und kategorialen Instrumente angewiesen. Dass diese Hilfswerke dort ihre Grenzen finden, wo eine Sprache, etwa eine gewisse *Lingua franca*, weder Kasus noch Tempora noch andere Flexionen kennt, wurde in der europäischen Frühneuzeit durchaus registriert. Eine diesen Sprachen eigene und daher angemessene Grammatik fehlt allerdings bis heute.

Besondere Aufmerksamkeit widmet Leibniz der chinesischen Sprache und ihrem Zeichensystem. Die anfängliche Hoffnung, im Chinesischen bereits ein ausgearbeitetes Zeichensystem und somit ein Vorbild für die gesuchte philosophische Universalsprache zu haben, musste Leibniz schnell aufgeben. Die komplizierte Phonetik chinesischer Worte, die häufige Homonymität, die große Anzahl der Zeichen und nicht zuletzt die Schwierigkeit, diese Zeichen auszusprechen, zu schreiben und zu beherrschen, widersprechen doch zu sehr den Grundvorstellungen einer Universalsprache. Umso deutlicher sieht Leibniz die Notwendigkeit chinesischer Sprachstudien für das Verständnis Chinas und für den sino-europäischen Wissensaustausch. Denn erst eine eigenständige Erforschung dieser Sprache und Schrift würde einen Zugang zum Verständnis der Kultur, der Geschichte, der Philosophie, des Menschen und der Sitten dort ermöglichen. Zur Förderung der Sprachstudien und zur Untersuchung chinesischer Quellen und Urkunden hat Leibniz weitere institutionelle Maßnahmen angeregt. Dazu gehört unter anderem der (bisher)

singulär scheinende, immer wieder zum Ausdruck gebrachte Appell, bei aller Achtung vor europäischen Forschern, „native speakers“ zur Vermittlung ihrer Sprache und zur Übersetzung chinesischer Quellen und Urkunden nach Europa zu holen. Besondere Hoffnung setzt Leibniz auf die Gründung der Berliner Sozietät der Wissenschaften. So lesen wir, z. B. in der *General-instruktion* vom 11. Juli 1700, dass die Berliner Sozietät in der Förderung der protestantischen Mission in China eine wichtige Arbeit sehen möge. Ferner regt Leibniz an, denjenigen, die nach China geschickt werden sollen, vorher durch die Akademie eine gründliche Ausbildung in den „realen scientien der natur und kunst [...] und orientalischen sprachen sonderlich dem Sinesischen und Sinisch-Tatarischen“ zu erteilen (Leibniz seit 1923: IV, 8, 545). Eine solche Ausbildung würde ihnen eine wohlwollende Aufnahme in China verschaffen und sie gleichzeitig in die Lage versetzen, auf ihrer Reise dorthin und erst recht in China selbst wissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen, etwa zur magnetischen Deklination und zu astronomischen Beobachtungen.

Und überhaupt sieht Leibniz in Vermittlung und Erwerb von Sprachkenntnissen einen unverzichtbaren Bestandteil schulischer Ausbildung, da zur Berufsfähigkeit notwendigerweise Sprachkompetenz gehört. In seiner Denkschrift für Peter den Großen aus dem Jahr 1716 – dies sei hier nur am Rande erwähnt – schlägt Leibniz den Aufbau einer Schulform aus drei Säulen vor: Wertevermittlung („Tugend“), Fachbefähigung, Erwerb von Sprachkenntnissen, je nach der angestrebten Berufszugehörigkeit. So mögen diejenigen Schüler, die später handwerklich tätig sein werden, in der Landessprache geübt sein, während diejenigen, die einem kaufmännischen Beruf nachgehen möchten, zusätzlich Latein und Deutsch beherrschen müssen. Von denjenigen, die Gelehrte werden wollen, sollten Kenntnisse in Griechisch, auch wohl in Französisch erwartet werden, von den Geistlichen darüber hinaus Hebräisch; und diejenigen, die hohe geistliche und weltliche Ämter tragen wollen, müssen vollkommen in griechischer Sprache und einigermaßen in „Arabisch“ geübt sein (Richter 1946: 109–111).

Leibniz und die „teutsche“ Sprache

Die Erforschung, Pflege und Kultivierung der deutschen Sprache war Leibniz ein besonderes Anliegen. Die zwei bedeutendsten Programmschriften dazu sind die frühe *Ermahnung an die Teutsche, ihren verstand und sprache beßer zu üben, samt beygefügeten vorschlag einer Teutschgesinten gesellschaft*, verfasst im Jahr 1679 (Leibniz seit 1923: IV, 3, N. 117) und die von Leibniz zwischen Januar 1697 und bis Ende 1712 immer wieder bearbeiteten *Unvorgreifflichen Gedancken betreffend die Ausübung und Verbesserung der teutschen Sprache* (Leibniz seit 1923: IV, 6, N. 79)¹¹; In den beiden – und zahlreichen anderen – Schriften ruft Leibniz auf, das Deutsche als Umgangswie als National-, poetische und Wissenschaftssprache zu kultivieren und seine Schönheit, den Reichtum und die schöpferische Kraft zu bewahren. Den historischen Hintergrund bildet dabei die seit Beginn des 17. Jahrhunderts in Europa begonnene Entwicklung von Nationalsprachen in Dichtungen wie in wissenschaftlichen Abhandlungen, etwa in Frankreich, England, Spanien, Italien und in den Niederlanden. Mit der bewussten Pflege nationaler Sprachen hängt wiederum zum einen die zunehmende Herausbildung der Öffentlichkeit, des Allgemeinwohls und der Kameralistik zusammen, zum anderen wird eine Diskussion der Mundarten aktuell,

da die Pflege einer Nationalsprache zugleich die Normierung einer Sprache zur Hochsprache bedeutet.

Eine zentrale Rolle kommt dabei, nach Leibniz' Vorstellung, wieder der Akademie, konkret der Berliner Sozietät der Wissenschaften zu. In der von Leibniz entworfenen und vom Kurfürsten Friedrich I. unterzeichneten, auf den 11. Juli 1700 datierten Stiftungsurkunde wurde der zu gründenden Sozietät ausdrücklich die Aufgabe zugewiesen,

unter andern Studien / was zu Erhaltung der teutschen Sprache in ihrer anständigen Reinigkeit / auch zur Ehre und Zierde der teutschen Nation gereicht / absonderlich mit [zu] besorge[n] [...] / also daß es eine teutsch-gesinnete Societaet der Scienzien sey. (Leibniz seit 1923: IV, 8, 435).¹²

In der Generalinstruktion wird dementsprechend verlangt,

dass in Unsem Cantzleyen, Regierungen, Collegien und Gerichten bey denen ausfertigungen die fremde unanständige worte, und übel entlehnte reden, so viel füglich geschehen kan, vermieden, hingegen gute Teütsche Redarten erhalten, herfür gesucht und vermehret werden, (Leibniz seit 1923: IV, 8, S. 482/483–484/485)

[d]amit auch die uhralte Teütsche HauptSprache in Ihrer natürlichen anständigen Reinigkeit und selbststand erhalten werden, und nicht endlich ein ungereimbtes mischmasch und unkäntlichkeit daraus entstehe. (Leibniz seit 1923: IV, 8, 482/483).

Die von ihm im § 56 der *Unvorgreifflichen Gedancken* benannten und hier nochmals zum Ausdruck gebrachten „drey gute Beschaffenheiten bey einer Sprach“ (Leibniz seit 1923: IV, 6, 550) sollten allerdings für jede Sprache gelten: „Reichtum“ – ob sich jede Sache mit einem Wort benennen lässt; „Reinigkeit“, die darin bestehe, dass „so woll die Worte und Red-Arten gut Teutsch lauten, als das die Grammatic oder Sprach-Kunst gebührend beobachtet, mihtthin auch der Teutsche Priscianus verschonet werde“ (Leibniz seit 1923: §80, IV, 6, 557); „Glanz“ bzw. ein rhetorisch guter Stil und „angenehme Leichtflüssigkeit“ (Leibniz seit 1923: §113, IV, 6, 564): Wenn es weder an „bequeme Worte“ (dank Reichtum) noch an „tüchtigen Redensarten“ (dank Reinigkeit) fehle, komme es auf den Geist und Verstand des Verfassers an, um die Worte wohl zu wählen und „füglich zu setzen“ (Leibniz seit 1923: § 110, IV, 6, 564).

Bei aller Liebe zu der „teutschen“ Sprache“ lehnte Leibniz den so genannten Purismus ab und betont ausdrücklich die Unentbehrlichkeit vieler fremder, aber gut integrierter Wörter für das Deutsche; die „abergläubische Furcht, ein Fremdes aber bequemes Wort, als eine todt-Sünde“ vermeiden zu wollen, sei eine „Schein-reinigkeit“ (Leibniz seit 1923: § 16, IV, 6, 537).

Ausblick

Leibnizens Sprachauffassung steht in tiefgreifenden Zusammenhängen mit anderen Aspekten seines Denkens. Die Zeichentheorie ist eingebettet in eine Unterscheidung zwischen den intuitiven und den symbolischen Erkenntnissen und damit in eine erkenntnis- und begriffstheoretische Grundposition von Leibniz, die ihre metaphysische Ausprägung in der Repräsentationstheorie der Monadenlehre findet. Die Annahme der absolut einfachen Begriffe korrespondiert mit der Annahme der Monaden als unteilbare Einheiten. Jede Sprache drückt die Welt auf ihre Weise

aus, wie jede Monade (jedes Individuum) ein kleiner Spiegel des Alls ist, das sie unter ihrem speziellen Aspekt und auf ihre eigentümliche Weise widerspiegelt. Der Gedanke der Vielfalt, der gerade bei Leibniz eine tragende Rolle spielt, zwingt zu einer anderen, mehr anthropologisch geleiteten Deutung der Sprachvielfalt als Reichtum und nicht als Verwirrung. Und bei aller Gabe einer philosophischen Durchdringung der Materie besitzt Leibniz die bemerkenswerte Fähigkeit, Sprachliches rein sprachlich zu deuten.

Dennoch handelt es sich bei der Beschäftigung mit Leibniz' Zeichentheorie, Sprachforschung und Sprachphilosophie keineswegs um eine ausschließlich geistes- und sprachgeschichtliche Forschung. Mit seiner Zeichentheorie, die den Anspruch einer Erfindungskunst hat, hat Leibniz die theoretische Grundlage für die moderne Auffassung des Kalküls und der formalisierten Sprache geschaffen. Mit seiner Betonung der Methode und Forderung nach der Sammlung von Sprachproben ist Leibniz Ahnherr der Linguistik und dabei vor allem der Etymologie als empirischer Wissenschaft. Bei allem Spott, den das Projekt einer *Characteristica universalis* in der Zeit nach Leibniz erfahren hat, gilt es nach wie vor, wenn nicht gar dringender denn je, die Frage nach der Einheit der Wissenschaft zu stellen und zu fragen, inwieweit es uns doch gelingen könnte, die Wissenschaften in all ihren Formen und Disziplinen wieder zu einer Einheit zu bringen und sie alle als Geisteswissenschaften und als kulturelle Leistungen zu verstehen. Trotz aller Notwendigkeit, inter- wie transkulturell eine gemeinsame Sprache zu finden, gilt es mehr denn je, die multikulturelle Vielfalt der Sprachen und deren geschichtliche Lebendigkeit zu bewahren.

Umso mehr gilt es nun aus der Sicht der Leibniz-Edition, mit der Herausgabe der sprachwissenschaftlichen und historischen Schriften von Leibniz, der Reihe V der Akademie-Ausgabe (endlich) zu starten und diesen Teil des schriftlichen Nachlasses von Leibniz der internationalen Forschung sowie einer interessierten Öffentlichkeit in seiner ganzen Breite und Tiefe zugänglich zu machen.

Anmerkungen

1. Bei dem vorliegenden Beitrag handelt es sich um eine Erweiterung von Teilen der Einleitung des Autors zu dem von ihm herausgegebenen Sammelband: Einheit der Vernunft und Vielfalt der Sprachen. Zum Thema siehe ferner: Karl-Heinz Weimann (1966) und Hans Poser (2016).
2. Im Folgenden zitiert mit römischer Ziffer für die Reihe, arabischer Ziffer für den Band, gegebenenfalls Großbuchstabe für den Teilband, N. für Stücknummer.
3. Reihe I: Allgemeiner, politischer und historischer Briefwechsel. Bisher 24 Bände erschienen, die Leibniz' Briefwechsel bis Juli 1705 dokumentieren.
4. Politische Schriften; bisher 8 Bände mit Schriften bis 1700 erschienen.
5. Allein in den insgesamt mehr als 3600 Seiten umfassenden drei Teilbänden, die den Zeitraum von 1677 und 1690 erfassen, sind knapp 250 Texte zu *Scientia generalis*, *characteristica* und *calculus universalis* enthalten. Es wird wieder einmal deutlich, in welchem Maße gerade die Leibniz-Forschung von dem Fortschritt der Edition abhängt.
6. En passant: Mit dem Begriff *Utopie* im zeitgenössischen Sinn, wie etwa bei Thomas Morus, Tommasio Campanella und nicht zuletzt Francis Bacon, konnte Leibniz sich wenig anfreunden. „Es gibt Leute, die über eine Insel im Atlantischen Ozean sprechen, auf welcher die glücklichsten Menschenwesen mit großen Schritten einer goldenen Zukunft in einem irdischen Paradies entgegengehen.“ Und warum sollen wir unser Glück so weit außerhalb unserer Welt suchen? „Ita scilicet mortales felicitatem extra nos quaerimus [...]“ [So sinnen wir Sterbliche allerdings auf das Glück über uns hinaus] (Leibniz seit 1923: VI, 4 A, 981, 982).
7. „Alphabetum cogitationum humanarum“.
8. „[...] et cet ordre ne donne pas l'origine des notions, mais pour ainsi dire l'histoire de nos découvertes“.

9. „Es ist offensichtlich genug, dass fast alle Sprachen der Welt, die den Alten bekannt waren, eine beträchtliche Übereinstimmung untereinander besitzen und aus einer gemeinsamen Quelle zu stammen scheinen. Aber wenn man nach Amerika hinübergeht und zu den äußeren Rändern und abgelegenen Regionen Asiens und Afrikas, so erscheinen die Sprachen so verschieden untereinander und von unseren, so dass man sagen würde, es handelt sich um eine andere Rasse von Lebewesen. Aber wenn man von Volk und Volk ginge, um die Sprachen zu untersuchen, könnte man besser darüber urteilen, als wenn man so per saltum vorgeht.“ Leibniz an Simon de la Loubère, 5. Oktober 1691 (Leibniz seit 1923: I, 7, 399). Leibniz an Johan Gabriel Sparwenfeld, 27. Dez. 1698 (Leibniz seit 1923: I, 16 N. 265, 425).
10. Leibniz an Simon de la Loubère, 5. Oktober 1691.
11. Zur Entstehungsgeschichte siehe die Stückeinleitung dort, S. 528–532.
12. Stiftungs-Brieff dero Societaet der Wissenschaften

Literatur

- Antoine, Annette (2016). „Leibniz und die Sprache“. In: *Unimagazin. Forschungsmagazin der Leibniz Universität Hannover* 1/2, S. 48.
- Cassirer, Ernst (2001). *Philosophie der symbolischen Formen*. Band 1, *Die Sprache*. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Couturat, Louis (1903). „La logique de Leibniz d'après des documents inédits“. In: *Opuscles et fragments inédits de Leibniz. Extraits des manuscrits de la Bibliothèque royale de Hanovre*. Paris: Felix Alcan.
- Gensini, Stefano (2014). „Leibniz's later writings on language and the topic of 'Origins'“. In: *Einheit der Vernunft und Vielfalt der Sprachen. Beiträge zu Leibniz' Sprachforschung und Zeichentheorie. Studia Leibnitiana Supplementa* 38. Hrsg. von Wenchao Li. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, S. 25–42.
- Haßler, Gerda (1999). „Leibniz' Stellung in der Diskussion des Zeichencharakters“. In: *Labora diligenter*. Hrsg. von Martin Frontius, Hartmut Rudolph und Gary Smith. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, S. 167–185.
- Knobloch, Eberhard (2016). „Leibniz's Conception of a General Characteristic Art or Combinatorial Art: Leibnizian Examples.“ In: *Kurt Gödel: Philosopher-Scientist*. Hrsg. von Gabriella Crocco und Eva-Maria Engelen. Aix en Provence: Presses Universitaires de Provence, S. 323–340.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1831). *Unvorgreifliche Gedanken, betreffend die Ausübung und Verbesserung der Deutschen Sprache*. Dessau.
- (seit 1849). *Die philosophischen Schriften*. Hrsg. von Carl Immanuel Gerhardt. Hildesheim / New York: Georg Olms Verlag.
- (seit 1923). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Berlin / Boston: Walter de Gruyter.
- (1985). „Nouveaux Essais sur l'Entendement Humain. Neue Abhandlungen über den menschlichen Verstand“. In: *Philosophische Schriften, Bd. III, 2 Bde*. Hrsg. von Wolf von Engelhardt und Hans Heinz Holz. Darmstadt: Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft.
- (1990). *Philosophische Schriften*. Hrsg. von Werner Wiater. Frankfurt: Insel Verlag.
- (1991). „Epistolica de historia etymologica dissertatio“. In: Gensini, Stefano. *Il natural e il simbolico*. Rom: Bulzoni, S. 191–272.
- (2000). *Die Grundlagen des logischen Kalküls*. Hrsg. von Franz Schupp. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- (2004). *Schriften und Briefe zur Geschichte*. Hrsg. von Malte-Ludolf Babin und Gerd van den Heuvel, Hannover: Verlag Hahnsche Buchhandlung.
- (2006). *Der Briefwechsel mit den Jesuiten in China (1689–1714)*. Hrsg. von Rita Widmaier. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Li, Wencho (2014). „Vorwort“. In: *Einheit der Vernunft und Vielfalt der Sprachen. Beiträge zu Leibniz' Sprachforschung und Zeichentheorie. Studia Leibnitiana Supplementa* 38. Hrsg. von Wencho Li. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, S. 7–8.
- Poser, Hans (2016). *Leibniz' Philosophie. Über die Einheit von Metaphysik und Wissenschaft*. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Richter, Liselotte (1946). *Leibniz und sein Russlandbild*. Berlin: Akademie Verlag.
- Schlözer, August Ludewig (1771). *Allgemeine Nordische Geschichte*. Halle: Johann Justinus Gebauer.

- Schulenberg, Sigrid von der (1973). *Leibniz als Sprachforscher*. Hrsg. von Kurt Müller. Frankfurt a. M.: Vittorio Klostermann.
- Weimann, Karl-Heinz (1966). „Leibniz als Sprachforscher“. In: *Leibniz. Sein Leben, sein Wirken, seine Welt*. Hrsg. von Wilhelm Totok und Carl Haase. Hannover: Verlag für Literatur und Zeitgeschichte, S. 535–552.

Leibniz, das Vaterunser und die Sprachvielfalt

Das Vaterunser gehört zweifelsohne zu den bekanntesten Texten der Welt. Seit der Zeit Karls des Großen können viele Generationen von Schülern, aufgewachsen und erzogen in christlicher Tradition, das kurze Gebet auswendig aufsagen, oft auch in anderen Sprachen als in der Muttersprache. Dieses Gebet, das den Evangelisten Markus und Matthäus zufolge von Jesus selbst angefertigt wurde und das laut vielen Spezialisten an jüdische Gebetstraditionen anknüpft, gilt als das am weitesten verbreitete des Christentums. Der matthäischen Fassung wurde schon recht früh ein fester Platz in der urchristlichen Liturgie eingeräumt: Schon ab dem zweiten Jahrhundert wurde das Vaterunser mit dem Empfang der Eucharistie vereint. Zudem sollte es dreimal täglich privat gebetet werden. Das Vaterunser, das seinen Namen der Anrede des Gebets verdankt (auf Aramäisch wahrscheinlich schlichtweg „Abba“), ist in evangelisch-reformierten Kirchen auch bekannt unter dem Namen „Unser Vater“. Zudem gibt es noch die alternativen Bezeichnungen „Gebet des Herrn“ oder „Herrengebet“. In der lateinischen Tradition der alten und katholischen Kirche ist entweder vom *Pater noster* oder *Oratio dominica* die Rede (vgl. u. a. Hammerling 2010). Es ist diese letzte Bezeichnung, die in der lateinsprachigen Gelehrtenrepublik am geläufigsten ist, und folglich in diesem Beitrag in den Vordergrund rücken wird.

Selbst unter Sprachwissenschaftlern ist kaum bekannt, dass das Vaterunser einstmals eine sehr zentrale Rolle im Werdegang der „vorwissenschaftlichen“ Sprachwissenschaft gespielt hat, obschon die Auswirkungen selbst noch im Jahre 2016 spürbar sind. Aus manchen, den kleineren Sprachen gewidmeten Wikipedia-Einträgen ergibt sich ja, dass das Vaterunser noch bis heute als geläufige Sprachprobe gewählt wird. Auch Leibniz hat sich intensiv mit Vaterunserübersetzungen auseinandergesetzt. Ziel des vorliegenden Beitrags ist es daher, die einschneidende Wirksamkeit des Universalgelehrten in dieser bemerkenswerten Wissenstradition zu erörtern und aufzuzeigen, inwiefern er sich von anderen zeitgenössischen Sprachprojekten unterschied.¹

1 *Leibnizens Briefwechsel mit John Chamberlayne*

Ende November 1713 erhielt Leibniz einen Brief von John Chamberlayne (1666–1723). Der gebürtige Engländer und ehemalige Leidener Student, der besonders eng mit den höchsten politischen Kreisen in Großbritannien verknüpft war, hatte als Amateurgelehrter den Ruf, sich in nicht weniger als 16 Sprachen auszukennen (vgl. Zulaika Hernández 2009: 317–318; Henderson 2013: 251). Er schrieb:

je reprend la Plume pour vous dire Monsieur que j'ay preparé une nouvelle Edition de l'Oraison Dominicale [...] et que j'ay ajouté un autre Centaine presque; mes Amis me flattent que j'ay redressé de Fautes et que ma Methode est plus utile que la derniere, et quelques uns de mes Sça-

vans Correspondants [...] ont bien voulu enrichir mon Recueil par des Discours ou Dissertations Epistolaires sur l'origine des Langues, leurs Relations ou Analogie, Changemens etc; [...] oserai-je vous prier aussi Monsieur d'y ajouter quelque petit Discours sur le meme sujet? vous qui peutetre entendez plus de ces versions là qu'aucun autre, et qui connoissez le Genie de Toutes?

[Ich greife erneut zur Feder, um Ihnen zu melden, mein Herr, dass ich eine neue Ausgabe des Vaterunsers vorbereitet habe. Meine Freunde schmeicheln mir, dass ich Fehler berichtigt habe und dass meine Methode nützlicher als die letzte Herausgabe sei. Zudem waren manche meiner gelehrten Korrespondenten bereit [...], meinen Band mit Beiträgen oder Briefdissertationen zum Sprachursprung, zur Sprachverwandtschaft oder Analogie, Sprachänderung und so weiter zu bereichern. [...] Wäge ich auch Sie zu bitten, mein Herr, eine kleine Rede zum gleichen Thema hinzuzufügen? Sie, die Sie sich wohl mehr als kein anderer in diesen Übersetzungen auskennen und Sie, die Sie das Genie aller Sprachen kennen?] [zitiert nach Zulaika Hernández 2009: 325, eigene Übersetzung]

An dieser Stelle kann schon unterstrichen werden, dass sich Chamberlayne der von ihm entwickelten Methode rühmt. Über Chamberlaynes neue Initiative freute Leibniz sich nach eigenen Angaben sehr, wie sich dem ersten Satz seiner anfangs Januar 1714 geschickten Antwort entnehmen lässt. Sein Brief wurde 1715, ein Jahr vor Leibniz' Lebensende, als einer der neun Aufsätze in Chamberlaynes Vaterunersammlung veröffentlicht, und ist bis heute kaum erforscht. Im nächsten Satz bringt er seine Enttäuschung darüber zum Ausdruck, dass die klassischen Gelehrten niemals auf ähnliche Gedanken gekommen sind – eine Bemerkung, die er zwei Seiten später nochmals wiederholt. Hier ist nicht der Platz, im Einzelnen den Gründen dafür nachzugehen, dass die griechischen und lateinischen Gelehrten kein nachweisbares Interesse an der jeweiligen Sprachvielfalt gezeigt haben (vgl. dafür z. B. Werner 1992). Es ist aber auffällig, dass dieser antike Mangel an Neugierde Leibniz derart aufgefallen ist. Ab dem zweiten Absatz schildert Leibniz eine kurze Geschichte der Vaterunersammlungen. Seine Behauptung, dass Conrad Gessner – nach seinem besten Wissen – als erster den Plan durchgeführt hat, Vaterunserübersetzungen zu sammeln, stimmt nur teilweise. Um die Eigenheiten des Leibniz'schen Sprachvorhabens besser würdigen zu können, ist es notwendig, sehr kurz näher auf einige ältere Vaterunersammlungen einzugehen.

2 *Die Tradition der Vaterunersammlungen bis zu Leibniz: Eine kurze Skizze*

Die vermutlich erste Vaterunersammlung bestand aus nicht mehr als zwei Proben. Verfasser war der um 1380 in Bayern geborene Johannes Schiltberger, der manchmal als „deutscher Marco Polo“ bezeichnet wurde, da er einen großen Teil seines Lebens in osmanischer Kriegsgefangenschaft verbrachte. Nachdem ihm 1427 die Flucht gelungen war, zeichnete er in seiner bayerischen Heimat seine vielfältigen Erlebnisse auf. Ein Anhang seiner viel gelesenen Arbeit enthält eine altosmanische sowie eine armenische Fassung des Vaterunsers. Seinem Bericht selbst lässt sich entnehmen, dass für den Häftling Schiltberger das Vaterunser, in welcher Sprache auch immer, als eine lebhafte Erinnerung an seine Heimat und sogar als ultimatives Kennwort seines Glaubens galt. Um ein sprachwissenschaftliches Projekt handelt es sich hier jedoch noch nicht. Anders ist es bei dem ebenfalls von Leibniz nicht erwähnten Theodor Bibliander (1509–1564). Als Inhaber des Zürcher Lehrstuhls für das Alte Testament veröffentlichte dieser Zwinglianus 1548 beim Verlag von Christoph Froschauer *De ratione communi omnium linguarum et literarum commentarius*

[„eine Schrift zur gemeinsamen Vernunft aller Sprachen und Buchstaben“]. Es war Biblianders feste Überzeugung, dass eine vernünftige Art von Sprachwissenschaft, mit dem Hebräischen als wichtigster und führender Sprache, zu religiöser Harmonie und *Concordia* führen könnte (Klein 1992: 245). Seine Arbeit wird von einigen sprachvergleichenden Tabellen, die unter anderem das Vaterunser in 14 Sprachen nebeneinanderstellen, abgeschlossen. Obschon der Erkenntnisgewinn dieser Tabellen nicht sofort einleuchtend ist (Goeing 2005: 80), lässt sich hier jedenfalls festhalten, dass bereits die Typographie darauf hinweist, dass vom Leser erwartet wird, die unterschiedlichen Fassungen miteinander zu vergleichen. Eine solche komparative Darstellungsweise lässt sich in den späteren Vaterunsersammlungen nicht mehr oft aufweisen. Biblianders Schüler Conrad Gessner, ein anderer wichtiger Vertreter des Schweizer Humanismus, veröffentlichte 1555 bei demselben Verlag ein Büchlein mit dem Titel *Mithridates*, das in alphabetischer Reihenfolge eine Besprechung von etwa 100 Sprachen bietet. Dem frühneuzeitlichen Kenntnisstand entsprechend sind die Lemmata sehr unterschiedlich in ihrer Länge. Ungefähr ein Viertel der Einträge enthält auch das Vaterunser. Die Vergleichsmöglichkeiten zwischen diesen Sprachproben, die er teilweise aus der Arbeit seines Lehrers schöpft, aber jetzt vereinzelt unter den alphabetischen Einträgen einreicht, sind in Gessners Arbeit allerdings viel geringer. Wie in seinen biologischen und anderen Arbeiten beschäftigt sich Gessner hier vor allem intensiv mit der Erschließung der materiellen Vielfalt.

1593 veröffentlichte Hieronymus Megiser (1554 bis ca. 1618) dann die erste eigenständige Vaterunsersammlung in vierzig verschiedenen Sprachen. Ein Neudruck, der 10 Jahre später erschien, enthielt bereits fünfzig Sprachen. Eine kurze, in elegischen Distichen abgefasste Lobrede auf das Vaterunser, die als einziger Paratext der Sammlung vorangeht, muss den Leser von den religiösen Motiven des Verfassers überzeugen. Seitdem wird die genaue (oder ungefähre) Zahl der gesammelten Vaterunserübersetzungen oft prominent auf dem Titelblatt erwähnt. Aus diesem sehr kurzen Überblick ergibt sich,² dass die Zielsetzung der besprochenen Sammlungen jeweils eine andere war.

3 Die Bedeutung der Vaterunserübersetzungen für Leibniz

Nach einer kurzen Erwähnung von Gessner und Megiser und nach einer etwas ausführlichen Auseinandersetzung mit der rezenten Müllerschen Sammlung (von der später noch die Rede sein wird) macht Leibniz im folgenden Absatz des Briefes an Chamberlayne eine kräftige Aussage:

Majoris molis sed majoris etiam fructus futurum erat, quod Georgius Hornius moliebatur. Cogitabat ille scilicet primum caput Geneseos Polyglottum nobis dare, quae specimina linguarum ampliora et ditiora haud dubie (cum in Oratione Dominica non nisi pauca vocabula habeantur) magis profutura essent ad naturam, indolem, originesque linguarum noscendas [...]. (Leibniz in Chamberlayne 1715: 23)

[Der von Georgius Hornius verfochtene Plan würde zwar mehr Aufwand darstellen, aber es würde sich auch mehr lohnen. Er überlegte sich ja, uns das erste Kapitel des Genesisbuchs in vielen Sprachen bereitzustellen. Daraus würden sich zweifelsohne reichlichere und ergiebige Spezimina ergeben (das Vaterunser enthält ja nur wenige Vokabeln), die zur Entdeckung des Wesens, Charakters und Ursprungs der Sprachen führen.] [Eigene Übersetzung]

Hier macht Leibniz klar, dass er gar nicht grundsätzlich auf der Beibehaltung des Vaterunser als Sprachprobe beharrt und dass er gegen die Auswahl eines aufschlussreicheren Textes keineswegs prinzipielle Einwände erhoben hätte. Im Rest des Briefes geht Leibniz dann kurz auf die verschiedenen in Europa und Asien gesprochenen Sprachen und Sprachgruppen ein.

Die Frage, weshalb Leibniz diesen Vaterunsersammlungen solch eine große Bedeutung beimaß, bleibt in diesem Brief zwar unbeantwortet, lässt sich aber durch Lektüre seiner anderen Schriften leicht beantworten. Die Sprachproben würden Leibniz zufolge dazu beitragen, die – aufgrund des eklatanten Quellenmangels – dunkle Vorgeschichte der Menschheit zu erhellen. Seit den achtziger Jahren des 17. Jahrhunderts befasste sich Leibniz im Auftrag des Hertogtums Braunschweig-Lüneburg intensiv mit der Geschichte der Welfen – ein Projekt, das er nie zur Vollendung gebracht hat. Die Tatsache, dass Leibniz im Rahmen dieses historischen Projekts auch der menschlichen Urgeschichte und den ältesten Volksmigrationen besondere Aufmerksamkeit widmete, erklärt wohl teilweise, weshalb es zu diesem Fehlschlag kam: Die Welfengeschichte artete sozusagen in eine sehr weitreichende Weltgeschichte aus (Scheel 1968). Dass sich die menschliche Vorgeschichte insbesondere den Sprachen entnehmen lässt, ist eine grundlegende Idee, die Leibniz besonders oft formuliert hat und die sogar als Kerngedanke von Leibniz' sprachhistorischem Forschungsprogramm betrachtet werden könnte (Van Hal 2014). Die allmähliche Erschließung von Leibniz' unveröffentlichten Briefen, Arbeiten und Entwürfen erlaubt uns, besser und präziser einzuschätzen, wie viel Gewicht Leibniz bestimmten Annahmen einräumte. Die Idee, dass Sprachen Geschichte schreiben können, taucht auch in *Nouveaux Essais sur l'entendement humain* auf (Trabant 2006: 190) sowie in vielen kleineren Schriften, in seinen Notizen (Luckscheiter 2014) und schließlich auch in seinem Briefwechsel. So eröffnete er seine berühmte *Brevis designatio meditationum de originibus gentium, ductis potissimum ex indicio linguarum* [„Abriß meiner Studien zu den Ursprüngen der Völker, vornehmlich auf sprachlicher Grundlage“] – gleichzeitig auch der erste Beitrag in der von Leibniz gegründeten Zeitschrift *Miscellanea Berolinensia ad incrementum scientiarum* – mit dem folgenden Satz:

Cum remotae gentium origines historiam transcendant, linguae nobis praestant veterum monumentorum vicem.

[Da die fernen Ursprünge der Völker über [die Anfänge der] historischen Überlieferung hinaus zurückreichen, ersetzen uns die Sprachen alte [schriftliche] Denkmale [jener Zeiten]] (Übersetzung von Babin und Van den Heuvel 2004: 356)

Wie Jürgen Trabant überzeugend nachgewiesen hat (Trabant 1990), hat Wilhelm von Humboldt (1767–1835) in seiner ersten akademischen Rede, die er in der von Leibniz gegründeten königlichen Berliner Akademie hielt, Leibnizens überwiegend instrumentelles Interesse an den Sprachen implizit kritisiert.³

Die Einsetzbarkeit sprachlicher Monumente zur Stützung historischer Darlegungen wurde nicht erst von Leibniz erkundet. Im neunten Kapitel der 1566 von Jean Bodin (1530–1596) veröffentlichten *Methodus ad facilem historiarum cognitionem*, das dem Problem der Ursprünge der Völker gewidmet war, nimmt die Beweiskraft der Sprachen einen wichtigen Stellenwert ein. Dieser innovative französische Gelehrte übte einen erheblichen Einfluss auf spätere Wissenschaftler aus. So äußerte sich der westflämische Gelehrte Olivarius Vredius (1596–1652) um die Mitte des 17. Jahrhunderts:

Gentium originis nullum certius argumentum est lingua, quae si inter plures, quovis etiam locorum intervallo disiunctas nationes, una sit, eademque, unam quoque, ac eandem iis genuinam esse originem indubie convincit. (Vredius 1650: ii, 237)

[Es gibt kein zuverlässigeres Argument für die Bestimmung des Ursprungs der Völker als die Sprache. Wenn die Sprache zwischen mehreren und räumlich getrennten Gemeinschaften ein und dieselbe ist, dann ist das auch ein zweifelloser Beweis dafür, dass die Gemeinschaften auch einen und denselben echten Ursprung haben.] (Eigene Übersetzung)

Ähnliche Aussagen aus dem 16. und 17. Jahrhundert lassen sich mühelos auffinden. Nichtsdestotrotz wird dieses von Bodin entwickelte Prinzip nicht von allen Zeitgenossen begrüßt. Der Löwener Historiker Justus Lipsius (1547–1606) vertrat eine völlig entgegengesetzte Meinung, als er in einem von ihm selbst veröffentlichten und daher einflussreichen Brief schrieb:

Errat enim qui in re instabili maxime, id est lingua, quaerit firmitatem.

[Wer in einer sehr instabilen Sache, nämlich in der Sprache, Festigkeit sucht, der täuscht sich.]

Lipsius war der Meinung, dass sich die Sprachen vollkommen willkürlich änderten. Daher sollte sich niemand auf sie verlassen.

Leibniz, und mit ihm die Mehrheit seiner Vorgänger, war aber anderer Meinung. Die Frage ist nun, inwiefern er mit der Verteidigung dieses Prinzips über seine Vorgänger hinausging. Mir kommt es so vor, als habe Leibniz dieses Prinzip als Anstoß eines breit angelegten und kollaborativen Forschungsprogramms aufgefasst, dessen Ergebnisse noch nicht im Voraus abzusehen waren. In den früheren Belegstellen hingegen wird die Idee, dass Sprachen als ausgezeichnete Quellen für die Vorgeschichtsschreibung gelten, fast ausnahmslos als Untermauerung für eine schon vorher entwickelte und vertretene Ansicht eingesetzt.

Gerade zur Verwirklichung dieses anspruchsvollen Programms brauchte Leibniz möglichst viele Sprachproben. Daher kam er auf die Idee, die bereits existierende Tradition der Vaterunersammlungen neu zu beleben. Hieran lässt sich erkennen, wie Leibniz zwei verschiedene Traditionen produktiv zusammenbringt, um daraus – und dies ist ein wichtiger Punkt – ein völlig neues Programm zu entwickeln (Abb. 1).⁴

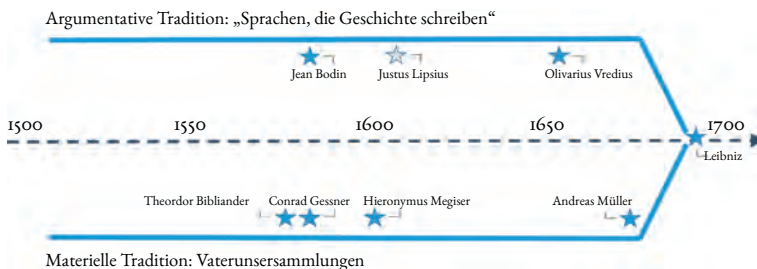


Abbildung 1. Wie Leibniz zwei unterschiedliche Traditionen zusammenbringt

4 Gedanken zur Methode und Leibnizens Erbe

Wie ging Leibniz bei der Durchführung seines kollaborativen Projekts vor? In diesem Zusammenhang ist der Briefwechsel mit Hiob Ludolf (1624–1704) wohl von großer Bedeutung. Der Spezialist des Äthiopischen stand wiederum in enger Verbindung mit Andreas Müller Greifenhagen (1630–1694), der als sprachfanatischer Propst der Berliner Nikolaikirche 1680 anonym die oben bereits erwähnte Vaterunsersammlung herausgegeben hatte. Dass Ludolf an dieser Veröffentlichung erhebliche Kritik geübt hat, ergibt sich aus dem Briefwechsel zwischen Leibniz und Ludolf sowie aus einem von Ludolf ausführlich annotierten Exemplar dieser Vaterunsersammlung.⁵ Von den zahlreichen Mängeln, die Ludolf bei der Lektüre feststellte (so legte er zum Beispiel dar, dass die wirkliche Anzahl der aufgenommenen Proben viel niedriger war als auf dem Titelblatt angegeben), ist für unsere Zwecke vor allem das Fehlen einer interlinearen Übersetzung von Bedeutung. Die von Müller gewählte Herangehensweise, für jede Probe sowohl die Originalbuchstaben (*Lectio*) als auch eine alphabetische Transliteration (*Versio*) zu bieten (eine Vorgangsweise, die übrigens von Chamberlayne beibehalten wurde), war für ein gutes Textverständnis nicht ausreichend. Besonders wichtig sei es, so Ludolf in seiner Kritik weiter, jeweils eine interlineare Übersetzung anzufertigen, damit der Leser für jede Sprache genau wisse, welches Wort übersetzt wird, da sich die Wortfolge nicht für alle Sprachen gleich vorhersagen lasse. Diesen methodologischen Hinweis greift Leibniz bei der Durchführung seines Projekts wieder auf.

Um Leibniz' Methode zu veranschaulichen, kann ein 1695 geschriebener Brief, via Bodo von Oberg letztendlich an Johannes Baptista Podesta (1625–1703) gerichtet, als repräsentatives Beispiel gelten.

On souhaite des petits echantillons de chaque langue, et le meilleur seroit le Pater nostre dans la langue.

[Wir wünschen kleine Proben jeder Sprache, und die beste wäre jeweils das Vaterunser.]
(Bungies, Heinekamp und Schupp 1982: 170)

In einem ausführlichen Anhang, „*desiderata circa linguas quorundam populorum*“ [„Wunschliste zu den Sprachen bestimmter Völker“; siehe Keller 2015 für einen historischen Einblick ins Genre der wissenschaftlichen Wunschliste], erörtert Leibniz, weshalb er das Vaterunser für sein historisches Projekt für so geeignet hielt: „Es ist das beste Medium für den Sprachvergleich, da wir vom Vaterunser schon viele Übersetzungen haben.“⁶ Dies scheint ein in erster Linie rein pragmatisches Argument zu sein. Auffällig ist aber, dass Leibniz hervorhebt, auch christliche Missionare würden in dieser Hinsicht Hilfe leisten können: Schließlich trage die Übersetzung dieser Formel auch erheblich zur Verbreitung des wahren Glaubens bei. Dank dieses Projekts würde jede Sprache den Herren loben (*ut omnis lingua laudet Dominum* – offensichtlich ein Zitat aus einem von Papst Stephanus V geschriebenen Brief, vgl. Geary 2013: 91). Die Frage, inwiefern Leibniz dem religiösen Gehalt der Formel für seine spezifisch historischen Zwecke wirklich einen großen Stellenwert zugemessen hat, muss zunächst offen bleiben. Es ist denkbar, dass Leibniz vor allem hoffte, dass der christliche Charakter dieser gängigen Sprachprobe die Kooperation der Missionare erheblich hätte beschleunigen können. Drei Jahre vor seinem Lebensende hat sich Leibniz noch mit dem Zaren Peter der Große in Verbindung zu setzen versucht. Auch in diesem Brief spielt er den „missionarischen Trumpf“ aus.

[...] und die zehen Gebothe Gottes, das Gebet des Herrn, oder Vater Unser, und das Apostolische Symbolum des Christlichen Glaubens, sammt andern Catechetischen Stücken, in solche Sprachen nach und nach versetzen zu lassen, *ut omnis lingua laudet Dominum*. Es würde auch der Ruhm Sr. Majestät, die so viele Völker beherrscht und zu verbessern sucht, und die Erkenntniss des Ursprungs der Nationen, so aus dem Ew. Majestät unterworfenen Scythien in andere Länder kommen, aus Vergleichung der Sprachen, befördern, hauptsächlich aber dazu dienen, damit das Christenthum bey denen Völkern, die solche Sprachen brauchen, fortgepflanzt werden möge [...] (Zitiert nach F. Adelung 1815: v–vi).

Die Lektüre dieses Briefwechsels verdeutlicht, wie Leibniz den langen, an Podesta gerichteten Fragebogen in ähnlicher, gekürzter Form auch unter anderen im Ausland tätigen Korrespondenten (einschließlich Monarchen und Herrscher) verbreitet hat. Besondere Aufmerksamkeit widmet Leibniz hierbei den zahlreichen, im russischen Reich gesprochenen Sprachen. Für die amerikanischen Sprachen hatte er kein nachweisbares Interesse. Grund dafür war Leibniz' feste Überzeugung, dass die Frage der Ursprünge der Menschheit vor allem anhand der im Eurasiatischen Kontinent vorkommenden Sprachen gelöst werden könnte. In vielen dieser Briefe wird betont, dass auf Interlinearfassungen nicht verzichtet werden sollte. Außerdem wird darum gebeten, noch eine zusätzliche Liste mit alltäglichen Vokabeln (Körperteilen, Verwandtschaftsnamen, Tiernamen, etc.) zu vermitteln. Leibniz geht sehr systematisch vor: Von jedem Korrespondenten werden dieselben Auskünfte gewünscht.

Schließlich sollten wir selbstverständlich kurz bei der Frage stehenbleiben, was denn eigentlich aus Leibnizens Aufforderung geworden ist, möglichst viele Vaterunserübersetzungen zu sammeln. Fest steht, dass Leibniz selbst keine solche Sammlung herausgegeben hat. Die postum herausgegebenen *Collectanea etymologica* (1717) enthalten einige Vaterunser aus dem Briefwechsel mit Nicolaes Witsen (1641–1717). Aus dem von Stefan Luckscheiter neulich herausgegebenen Inventar der Leibniz'schen sprachwissenschaftlichen Schriften (Luckseiter 2014) geht zudem hervor, dass sich in Leibnizens Nachlass einige Vaterunserübersetzungen auffinden lassen. Alles in allem ist deren Anzahl alles andere als eindrucksvoll. Aus dem letzten Abschnitt wird sich ergeben, dass man trotzdem nicht schließen sollte, dass sein Projekt gescheitert ist.

5 Ausblick

Exakt einhundert Jahre nach dem Anfang Leibniz' historischer Sprachforschungen äußerte sich der bedeutende Berliner Pädagoge Friedrich Gedike (1754–1803) zur sprachvergleichenden Methode mit folgendem Wortlaut:

Um indessen nicht bloß einzelne unzusammenhängende Wörter, sondern auch den eigenthümlichen Bau der verschiedenen Sprachen kennen zu lernen, würde eine zusammenhängende Folge von einigen Sätzen, in allen Sprachen ausgedrückt, und worin besonders einige Hauptbegriffe in verschiedenen Verhältnissen vorkämen, sehr wünschenswerth sein. Am besten würde sich dazu eine ganz simple Erzählung oder Beschreibung schicken. Sonderbar und widersinnig ist es, daß man bisher zu solchen Sprachproben gewöhnlich das Vaterunser gewählt hat, ohne zu bedenken, daß es unmöglich ist, für alle in diesem Gebet vorkommende abstrakte und intellektuelle Begriffe adäquate Wörter in allen Sprachen auch der ungebildeten Nationen zu finden.⁷ (Gedike 1785: 187)

Meines Wissens handelt es sich hier um die erste gedruckte Kritik am Vaterunser als Standard-sprachprobe.⁸ Heute können Sprachwissenschaftler Gedikes visionärer Aussage nur beipflichten. Das von ihm hier kurz umrissene Programm wurde erst später von Wilhelm von Humboldt aufgegriffen und durchgeführt. Indem dieser solch einen Wert auf Sprachstrukturen (siehe Gedikes „eigenthümlichen Bau“) legte, verlor die Vaterunser-Formel für den Sprachvergleich ihre Bedeutung. In mehreren Veröffentlichungen hat Jürgen Trabant die sprachwissenschaftliche Unzulänglichkeit dieser Formel betont:

Übersetzungen heiliger Texte sind ja prinzipiell stark am ursprünglichen Heiligen Text orientiert, sie tendieren gleichsam prinzipiell zur Interlinearversion, so daß bestimmte strukturelle Eigenschaften der Zielsprache nicht oder nicht deutlich erscheinen. Die Vaterunser-Übersetzungen sind also aus unserer heutigen Sicht nur bedingt aussagekräftig hinsichtlich der Verschiedenheit der Sprachen. (Trabant 2006: 118–119)

Sollten wir denn schließen, dass Gedike von Leibniz' Sprachprojekt nichts hielt? Der Anfang von Gedikes Text lässt keinen Zweifel daran aufkommen, dass er Leibniz und sein sprachwissenschaftliches Programm besonders schätzte.⁹ 100 Jahre später hatte sich aber der wissenschaftliche Kontext grundsätzlich geändert. Wir müssen hier festhalten, dass Gedike in einem Zeitalter tätig war, in dem sogar die russische Kaiserin Katharina die Große und der spanische König Karl III selbst Interesse daran hatten, sprachvergleichende Forschungen zu treiben (vgl. Fernández Rodríguez 2015). Die allgemeine Begeisterung für den Sprachvergleich, stark ethnographisch geprägt, war lebendig wie nie zuvor. Es steht wohl außer Zweifel, dass Leibniz selbst diesen Schwung größtenteils erzeugt hat und dass seine Anregungen und Initiativen erheblich zum positiven Klima für das kollaborative sprachwissenschaftliche Unternehmen beigetragen haben (vgl. jetzt auch Vermeulen 2015). Wie sich den oben angeführten Zitaten entnehmen lässt, sah sich Leibniz zu einer pragmatischen Herangehensweise gezwungen, um das Interesse für die Sprachforschung zu wecken. Er konnte es sich schlichtweg noch nicht leisten, ausführlich über irgendwelche methodologischen Einwände gegen die Vaterunser-Formel nachzudenken. Die Entscheidung für das Vaterunser erlaubte ihm, das kollaborative Projekt nicht völlig *ab ovo* gestalten zu müssen, da es Anknüpfungspunkte zu einem bereits bestehenden Quellenbestand bot. Zudem konnte er mit dieser Probe auch Missionare für seine Sache gewinnen. Aus Leibniz' Perspektive betrachtet, erscheint sein Entschluss daher als eine nachvollziehbare und vernünftige Wahl.

Anmerkungen

1. Für die ausführlichste Darstellung dieser bedeutungsvollen Tradition sei auf Adelung (1806) verwiesen, der nebst einer Vaterunsersammlung in mehr als 500 Sprachen auch einen erstaunlich umfangreichen Überblick von 39 früher herausgegebenen Sammlungen anbietet.
2. Vgl. auch Considine (2017: Kapitel 17) für einige unbekanntere und unveröffentlichte Beispiele. Erst nach Abschluss dieses Beitrags nahm ich Gensini (2015) zur Kenntnis, der sich ebenso mit der Tradition der polyglotten Vaterunseransammlungen auseinandersetzt.
3. „Ueber das vergleichende Sprachstudium in Beziehung auf die verschiedenen Epochen der Sprachentwicklung“ (1820). Sowohl die Themenwahl als auch der Ort der Rede legten dem damaligen Publikum einen direkten Verweis zum Hannover Gelehrten nahe. Zudem kann Humboldts Eröffnungssatz als ein ‚Negativbild‘ zu Beginn der *Brevis designatio* betrachtet werden: „Das vergleichende Sprachstudium kann nur dann zu sicheren und bedeutenden Aufschlüssen über Sprache, Völkerentwicklung und Menschenbildung führen, wenn man es zu einem eignen, seinen Nutzen und Zweck in sich selbst tragenden Studium macht“ (zitiert nach Foertsch 2001: 112). Trabant (2006:

- 178–195) hat aber gezeigt, dass sich Leibniz in einem anderen Zusammenhang viel positiver über die Sprachvielfalt an sich äußerte.
4. Vergleich Fauvelle-Aymar (2002: 231): „L'idée jaillit d'un désir qui participe aussi de l'engouement pour les cabinets de curiosités: collecter, c'est-à-dire rassembler le divers en un lieu. Mais avec cette différence qu'il ne s'agit plus ici de collectionner. Les objets (ici les textes) ne sont plus simplement des *curiosa*, mais des *specimina*.“
 5. Vgl. Waterman (1978) sowie Ludolf, Ms. Marsden Collection B6/8 – Foyle Special Collections Library (King's College, London).
 6. „quod est optimum medium eas comparandi, quia jam multas hujusmodi versiones habemus“ (Leibniz 1718: 51).
 7. Zu Gedikes Text und dem allgemeinen Kontext, siehe Van Hal (2015).
 8. Siehe Van Hal (2015) für einige frühere, ungedruckte Einwände, und Foertsch (2001: 91) zur entsprechenden Kritiklosigkeit von Lorenzo Hervás y Panduro (1735–1809).
 9. „Seit Leibniz Zeiten sind philosophische Sprachforscher und Sprachforschende Philosophen keine Seltenheit mehr. Denn Leibniz, der so viele lichtvolle Ideen zuerst ausgestreut, war auch gewissermaßen der erste, der auf die große Brauchbarkeit der Sprachgelehrsamkeit für den Geschichtsforscher und auf die vernünftige Anwendung derselben zur Geschichtsforschung der ältesten Zeiten und Völker aufmerksam machte. [...] Aber Leibniz hat das Studium der Etymologie und Sprachvergleichung, das vor ihm gleich der typischen Theologie ein Tummelplatz eines regellosen Witzes war, unter gewisse Regeln gebracht, und ihm dadurch eine ehrenvolle Stelle unter den Hilfswissenschaften des Geschichtsforschers angewiesen. Sprachgelehrsamkeit ist nunmehr, wenn und wo alle andre historische Denkmäler fehlen oder schweigen, noch das einzige Mittel, um auch die dunkelsten Regionen der Geschichte der Menschheit wenigstens mit einigen Strahlen zu erhellen, oder in die widersprechenden Hypothesen der Geschichtschreiber Licht hineinzubringen“ (Gedike 1785: 182).

Literatur

- Adelung, Friedrich (1815). *Catherinens der Grossen Verdienste um die vergleichende Sprachenkunde*. St. Petersburg: Friedrich Drechsler.
- Adelung, Johann Christoph (1806). *Mithridates oder allgemeine Sprachenkunde mit dem Vater Unser als Sprachprobe in bey nahe fünfhundert Sprachen und Mundarten*. Berlin: In der Vossischen Buchhandlung.
- Babin, Malte-Ludolf und Gerd van den Heuvel, Hrsg. (2004). *Gottfried Wilhelm Leibniz: Schriften und Briefe zur Geschichte*. Hannover: Verlag Hahnsche Buchhandlung.
- Bungies, Wolfgang, Albert Heinekamp, und Franz Schupp, Hrsg. (1982). *Leibniz, Gottfried Wilhelm: Sämtliche Schriften und Briefe. 1. Reihe: Allgemeiner politischer und historischer Briefwechsel*, Band 11: Januar–Oktober 1695. Berlin: Akademie Verlag.
- Chamberlayne, John [und David Wilkins], Hrsg. (1715). *Oratio dominica in diversis omnium fere gentium linguas versa et propriis cujusque linguae characteribus expressa. Una cum dissertationibus nonnullis de linguarum origine variisque ipsarum permutationibus*. Amstelædami: Typis Guiljelmi & Davidis Goerei.
- Considine, John [2017]. *Small Dictionaries and Curiosity: Lexicography and Fieldwork in Post-Medieval Europe*. Oxford: Oxford University Press.
- Fauvelle-Aymar, François-Xavier (2002). *L'invention du Hottentot: histoire du regard occidental sur les Khoisan, XVIe–XIXe siècle*. Paris: Publications de la Sorbonne.
- Fernández Rodríguez, Rebeca. 2015. „A contrastive study of 18th-century word-lists: Translations into some fifty American and Philippine languages.“ In: *Historiographia Linguistica* 42 (2–3), S. 315–333.
- Foertsch, Henrike (2001). „Missionarsmaterialien und die Entdeckung amerikanischer Sprachen in Europa: vom Sprachensammler Lorenzo Hervás y Panduro zum Linguisten Wilhelm von Humboldt“. In: *Sammeln, Vernetzen, Auswerten: Missionare und ihr Beitrag zum Wandel europäischer Weltansicht*, Hrsg. von Reinhard Wendt. Tübingen: Gunter Narr Verlag, S. 75–130.
- Geary, Patrick J. (2013). *Language and Power in the Early Middle Ages*. Waltham, Mass.: Brandeis University Press.
- Gedike, Friedrich (1785). „Plan und Ankündigung eines Universalglossariums der Rußischen Kaiserin“. In: *Berlinische Monatsschrift* 6, S. 181–191.
- Gensini, Stefano (2015). „Apogeo e fine di Babele. Sugli orizzonti linguistici della modernità“. In: *Linguaggio, filosofia, fisiologia nell'età moderna. Atti del Convegno Roma, 23–25 gennaio 2014*, Hrsg. von Cristina Marras und Anna Lisa Schino s.l.: Istituto per il Lessico Intellettuale Europeo e Storia delle Idee, S. 193–218.

- Goeing, Anja-Silvia (2005). „Vernünftig unterrichten. Biblander als Lehrer“. In: *Theodor Bibliander (1505–1564): Ein Thurgauer im gelehrten Zürich der Reformationszeit*, Hrsg. von Christine Christ-von Wedel. Zürich: Verlag Neue Zürcher Zeitung, S. 61–82.
- Hammerling, Roy (2010). *The Lord's Prayer in the Early Church: The Pearl of Great Price*. Palgrave MacMillan: New York, 2010.
- Henderson, Felicity (2013). „Making ‘The Good Old Man’ Speak English: The Reception of Antoni van Leeuwenhoek's Letters at the Royal Society, 1673–1723“. In: *Translating Knowledge in the Early Modern Low Countries*, Hrsg. von Harold Cook und Sven Dupré. Berlin, Zürich, Wien: LIT, S. 243–268.
- Keller, Vera (2015). *Knowledge and the Public Interest, 1575–1725*. New York: Cambridge University Press.
- Klein, Wolf Peter (1992). *Am Anfang war das Wort. Theorie- und wissenschaftsgeschichtliche Elemente frühneuzeitlichen Sprachbewusstseins*. Berlin: Akademie Verlag.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1718). *Otium hanoveranum, sive Miscellanea ex ore & schedis illustris Viri, pia memoriae Godofr. Guiljelm. Leibnitii* [...]. Hrsg. von Joachim Friedrich Feller. Lipsiae: Johann Christian Martin.
- Luckscheiter, Stefan (2014). „Leibniz' Schriften zur Sprachforschung“. In: *Einheit der Vernunft und Vielfalt der Sprachen – Beiträge zu Leibnizens Sprachforschung und Zeichentheorie*, Hrsg. von Wenchao Li. Stuttgart: Steiner, S. 317–432.
- Scheel, Günter (1968). „Leibniz' Pläne für das ‘Opus historicum’ und ihre Ausführung“. In: *Akten des Internationalen Leibniz-Kongresses Hannover, 14.–19. November 1966*. Band IV: *Theologie, Ethik, Pädagogik, Ästhetik, Geschichte, Politik, Rechtsphilosophie*, Wiesbaden: F. Steiner, S. 134–155.
- Trabant, Jürgen (1990). „Humboldt et Leibniz: Le concept intérieur de la linguistique“. In: *Leibniz, Humboldt, and the Origins of Comparativism*, Hrsg. von Tullio de Mauro und Lia Formigari. Amsterdam und Philadelphia: Benjamins, S. 135–156.
- (2006). *Europäisches Sprachdenken. Von Platon bis Wittgenstein*. München: C. H. Beck.
- Van Hal, Toon (2014). „Sprachen, die Geschichte schreiben. Zu Leibniz' sprachhistorischem Forschungsprogramm und dessen Nachwirkung“. In: *Einheit der Vernunft und Vielfalt der Sprachen – Beiträge zu Leibnizens Sprachforschung und Zeichentheorie*, Hrsg. von Wenchao Li. Stuttgart: Steiner, S. 177–206.
- Van Hal, Toon (2015). „Friedrich Gedike on why and how to compare the world's languages: A stepping stone between Gottfried Wilhelm Leibniz and Wilhelm von Humboldt?“. In: *Beiträge zur Geschichte der Sprachwissenschaft* 25, S. 53–76.
- Vermeulen, Han F. (2015). *Before Boas: The genesis of ethnography and ethnology in the German Enlightenment*. Lincoln, London: University of Nebraska Press.
- Vredius, Olivarius (1650). *Historiae comitum Flandriae libri prodromi duo. Quid comes? Quid Flandria?* Brugis: apud Lucam Kerchovium.
- Waterman, John T. (1978). *Leibniz and Ludolf on Things Linguistic. Excerpts from their Correspondence (1688–1703)*. Berkeley: University of California Press.
- Werner, Jürgen (1992). „Zur Fremdsprachenproblematik in der griechisch-römischen Antike“. In: *Zum Umgang mit fremden Sprachen in der griechisch-römischen Antike*, Hrsg. von Carl Werner Müller, Kurt Sier und Jürgen Werner. Stuttgart: Steiner, S. 1–20.
- Zulaika Hernández, Josu M. (2009). „Nuevos datos sobre las obras vascas de Pierre d'Urte“. In: *Estudios de Lingüística de la Universidad de Alicante* 23, S. 315–350.

Paul Feigelfeld

Chinese Whispers – die epistolarische Epistemologie des Gottfried Wilhelm Leibniz

Die Zeichen des Reellen: 中文 und Characteristica universalis

Je ferai donc mettre une affiche à ma porte avec ces mots :
bureau d'adresse pour la Chine

G. W. Leibniz an Kurfürstin Sophie-Charlotte, 1697
(Leibniz seit 1923: I, XIV, 869)¹

Um zu verstehen, vor welchem Hintergrund Gottfried Wilhelm Leibniz die all seine wissenschaftlichen Unterfangen vernetzende Zeichentheorie unter anderem aus dem chinesischen Schriftsystem heraus entwickelt, müssen wir uns vor Augen halten, dass es geradezu die barocke Anstrengung im 17. Jahrhundert par excellence ist, eine *Ars characteristica* zu entwickeln. Alphabete gehen ab dem Ende des 16. Jahrhunderts rigoros den Weg symbolischer Operationalisierung in Richtung einer *Ars inveniendi*, einer künstlichen *Lingua universalis*, innerhalb derer Zeichensysteme als *instrumentum rationis*, also als Techniken ihren buchstäblichen Sinn erhalten und sowohl Mittel zur Herstellung von etwas, als auch Resultat von Herstellungsprozessen werden. Die imposante Liste derjenigen, die vor Leibniz an dieser Anstrengung teilhaben, umfasst neben François Viète, dem Kryptologen und Vater der Buchstabenalgebra, und René Descartes u. a. Marin Mersenne [1636], Francis Lodwick [1647], Thomas Urquardt [1653], Cave Beck [1657], George Dalgarno [1661], Johann Joachim Becher [1661], Isaac Newton [1661], Athanasius Kircher [1663], Johann Amos Comenius [1668], Johann Sturm [1676] und De Vienne Plancy [1681] (Mungello 1985: 106–133). Vier Programme lassen sich unterscheiden: Die Rekonstruktion einer Ursprache, die Organisation einer allgemeinen Gelehrtensprache, die Erstellung einer allgemeinen Grammatik sowie die Konstruktion einer Kunstsprache als Forschungsinstrument (Krämer 1991: 242).

Historisch gibt es bereits mehrere Vor- und Möglichkeitsbedingungen für das Leibniz'sche Programm: Die kombinatorischen und gerade bei den Jesuiten beliebte mnemotechnische Grundidee aus Ramon Llulls *Ars generalis ultima* [1305], Leon Battista Albertis Chiffrierscheibe von 1463, Gutenbergs Buchdruck mit beweglichen Lettern und die Buchstabenalgebra François Viètes von 1591. Aus diesen Komponenten entsteht mit der ab dem späten 16. Jahrhundert außerdem durch die jesuitische Mission um den Projektraum und die Projektionsfläche China erweiterten Welt ein neues epistemisches Feld in der Wissenschaft, aus der das Chinesische nicht mehr wegzudenken ist. Leibniz' lebenslange Beschäftigung mit und Beeinflussung durch die chinesische Schrift und Sprache – wie auch sein Zweifel an ihrem Nutzen – zeigt sich bereits in seiner Dissertation zur *Ars combinatoria* 1666 (Leibniz seit 1923: IV, 1, 202).² Ebenfalls zeigt sich darin, wie wenig Leibniz und seine Zeitgenossen über das Chinesische wissen. Ein völlig

neues, geradezu außerirdisches oder jenseitiges Forschungsgebiet, das zu Spekulation, (Fehl-) Interpretation und esoterisch-kabbalistischer Auslegung verführt. Gerade jetzt, da dank der von Viète 1591 in seiner Schrift *In Artem analyticam Isagoge* entwickelten Buchstabenalgebra die Zaubersformel zugunsten von mathematischen Formalismen weicht, taucht diese neue, alte Schrift auf.

Das chinesische Schriftsystem ist für Leibniz ein Netzwerk, das Alphabet nur ein String, eine lineare Zeichenkette, wie Rechenmaschinen sie verarbeiten können. Das Alphabet, mit dem man nunmehr nicht nur schreiben, sondern auch rechnen kann, zieht seine Mächtigkeit daraus, dass es diskret und finit ist. Aus endlich vielen Elementen kann kombinatorisch und operativ alles gemacht werden. Das Chinesische ist, so scheint es zumindest, nicht diskret: Es schrumpft und wächst und leistet, so berichten die Jesuiten, dennoch ähnliches. Leibniz' Idee von der symbolischen Operationalität des chinesischen Schriftsystems impliziert, dass es seine eigenen Berechenbarkeitsbedingungen bereits enthält: Ein Zeichen beinhaltet bereits den eigenen Mechanismus, Software und Hardware quasi gleichermaßen, und die unzähligen Zeichen in diesem System sind mittels einfacher Regeln reduzierbar, elementar, organisiert wie eine jener göttlichen Maschinen der Natur: Weder rein organisch, noch künstlich, sondern „technorganisch“ – eine „Machinoiserie“. Zeichen, die direkt das Reelle abbilden. Medien also, die evident sind und Evidenz produzieren. Diese ideographische Idee von der chinesischen Schrift wird sich bis ins 19. Jahrhundert übertragen und dort in der frühen Fotografie und ihrem „Pencil of Nature“ in Erscheinung treten.

Epistolarische Epistemologie

Während Leibniz in seiner Dissertation bereits seine *Characteristica universalis* mit chinesischen Rekursionen konzipiert, beginnt er, ein wissenschaftliches Korrespondenznetzwerk aufzubauen, das zu Zeiten optimaler Vernetzung etwa 1100 Knotenpunkte von Oxford bis Madrid, Stockholm, Moskau und St. Petersburg, von Neapel, Goa, Sumatra, bis Guangzhou und Beijing gewissermaßen rhizomatisch, d. h. wie ein dichtes Geflecht, verbindet. Leibniz' Wissen entsteht medial, im Sinne von „Übertragen, Prozedieren, Speichern“; alles wird im Aufschreibesystem Brief eingefaltet und verschickt, alles wird im selben empfangen und wieder ausgefaltet und schreibt sich genau so auch in Leibniz' Register ein. Leibniz' sogenannte „prästabilisierte Harmonie“ wird zum medialen Dispositiv.

Der Brief – lat. *epistola*, von gr. *epistellein*, übersenden – ist also direkt epistemisches Ding – gr. *episteme*, von *epistasthai*, verstehen: Verstehen heißt Versenden. Im Gegensatz zu vielen wissenschaftlichen Zeitgenossen konzentriert sich Leibniz nicht nur auf das Verfassen und Publizieren von Büchern, sowie deren Organisation und Verschaltung in den großen europäischen Bibliotheken und Archiven – ein Gebiet, auf dem Leibniz ebenfalls viel gearbeitet hat. Leibniz skizziert, entwirft, sein Wissen ist unvollständig und darin liegt seine Konsistenz. Tausende Briefe flattern wie Fledermäuse in die Finsternis des Netzwerks und etablieren darin ein epistemologisches Echolot interferierender Referenzen, Loops und Rückkopplungen: Es dient zur Fehlerbehebung, Inspiration, zum Debugging – wie es heute in der Open Source Community genannt wird. Wissen bedeutet für Leibniz Unvollständigkeit und Gleichzeitigkeit: Tausende Wissensskizzen

sind gleichzeitig unterwegs, und die Verzögerung durch Postwege und die gleichzeitig nie dagewesene Geschwindigkeit der Übertragung führen auf Grund von interkontinentaler Kontingenz zu nicht oder nur intuitiv abzuschätzenden Resultaten dieses neuen, dermaßen weit und tief vernetzten Feldes. *Deep Learning* in den *Big Data* des Barock.

Die Transmission von Wissen, die Leibniz in den kommenden Jahrzehnten bis zu seinem Tod beschäftigen wird, beinhaltet auch einen regen Austausch mit den führenden europäischen Orientalisten sowie den Zugang zur zeitgenössischen China-Literatur, speziell der Beiträge der Jesuiten.

Itaque pro vocabulo, verb. gr. Pekin scriberetur uorfg
[Deshalb würde z. B. für das Wort Pekin uorfg geschrieben]

Labyrinthscdefgkmopqwxz
abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

G. W. Leibniz an Claudio Filippo Grimaldi S.J., 1697
(Leibniz 2006: 102)

1689 nimmt Leibniz brieflichen Kontakt zu jesuitischen Missionaren in China auf. Die Postwege verlaufen über Russland, das zu diesem Zeitpunkt in Grenzstreitigkeiten mit China verwickelt ist. Die daraus resultierende Unsicherheit des Brieftransfers ist vermutlich der Grund dafür, dass Leibniz seinen Korrespondenzpartnern die Verschlüsselung mit oben genannter Chiffre vorschlägt. Bis 1714 wird er etwa 70 Briefe senden und empfangen. 1697 gibt Leibniz sogar eine Textsammlung mit dem Titel *Novissima sinica* heraus, was man reißerisch mit „das Neueste aus China“ übersetzen könnte.

1697 bewirbt er in einem Brief an den Jesuiten Claudio Filippo Grimaldi seine Rechenmaschine und im selben Atemzug eine „Entdeckung im Zahlenreich“, die er nach eigenen Angaben schon vor 1679 gemacht hatte und von der er überzeugt ist, einem dürfte „nicht leicht in der Natur etwas begegnen, das ein schöneres und anschaulicheres Bild böte von der Schöpfung aller Dinge, die Gott aus dem Nichts geschaffen hat“ (Leibniz 2006: 81). Es geht um nichts Geringeres als die Rechnung mit Null und Eins, die Dyadik bzw. binäre Zahlendarstellung, auf deren Basis unsere gesamte Welt und Wirklichkeit sich heute berechnet und die Leibniz entscheidend weitergedacht hat. Hier findet sich zum ersten Mal der Ansatz zu Leibniz’ berühmtem Diktum „Einer hat alles aus nichts gemacht“, in dem Leibniz die Zahlendarstellung mit 0 und 1 auf die Genesis zurückführt.

Von Grimaldi erfährt Leibniz auch von den „etwa 200 Elementen bei den chinesischen Schriftzeichen, aus denen die übrigen zusammengesetzt werden“ (Leibniz 2006: 3) – eine bereits sehr gute Annäherung an die 214 Radikale, anhand derer chinesische Wörterbücher bis heute geordnet sind. In den darauffolgenden Jahren vertieft Leibniz mit Grimaldi und anderen Jesuiten unzählige Themen, steigt in Fragen der chinesischen Mathematik- und Astronomiegeschichte ein und kommt zu dem Schluss, dass „die Chinesen uns durch Beobachtungen, wir den Chinesen durch Erfindungen überlegen sind. Lasst uns unsere Verdienste zusammenwerfen, das Licht am Licht entzünden“ (Leibniz 2006: 37).

Theodizee? Technodizee

Die Dyadik in ihrer ersten offiziellen Publikation – der *Explication de l'Arithmetique binaire* von 1705 – täuscht den oben erwähnten Schöpfungsgedanken im Übrigen nur vor: Nirgendwo in den ursprünglichen Schriften findet sich etwas von Null und Eins oder, dass „Einer“ – ein Tag und Nacht einführender Gott – alles aus nichts gemacht hätte. Leibniz agiert rein mathematisch und semiologisch. Es geht um Stellenwert und die konstitutive Eigenschaft von Zeichen, nämlich, dass sie voneinander unterschieden sind. Darin ist Leibniz Vorsokratiker. Die grundlegendste Unterschiedenheit von Zahlen ist seit einem Fragment von Philolaos von Kroton aus dem 5. vorchristlichen Jahrhundert die Eigenschaft, entweder gerade oder ungerade zu sein (Diels 1966: 44).³ Auf dem Feld der Schrift und der Mustererkennung gibt es nichts Geraderes als eine Gerade und nichts Ungeraderes als einen Kreis. Das sind die zwei Zeichen, die Leibniz ursprünglich verwendet. Was sich schafft, ist Technologie, nicht Theologie. Die Theodizee, die Rechtfertigung Gottes von Leibniz, kommt demnach dem nahe, was Akademiker heute „Antragsprosa“ nennen. Die erste Handschrift der Leibniz'schen „Technodizee“, so könnte man sagen, datiert vom 15. März 1679 und ist mit *De Progressione Dyadica* betitelt.

Leibniz entwickelt die Dyadik, deren Signifikanz ihm erst durch den Briefwechsel mit dem Jesuiten Joachim Bouvet in Beijing zwischen Februar und November 1701 bewusst wird und ihn zur Veröffentlichung veranlasst, keineswegs als *Characteristica universalis*. 0 und 1 ist reine Repräsentation und schlicht die mögliche Kodierung, in der seinem „instrumentum rationis“ etwas übergeben werden könnte. Den entscheidenden Vorteil gegenüber Zahlendarstellungen mit anderer Basis sieht Leibniz in der Begrenztheit des Symbolraums: Während der Betrachter einer Zahlenfolge 0, 1, 2, ..., 9 mit der Systematik des Dezimalsystems vertraut sein muss, um zu verstehen, was er liest und weiter, um damit rechnen zu können, reicht dem Betrachter binärer Folgen die Fähigkeit zur Mustererkennung und -verarbeitung. Erkennen und Rechnen werden eins. In einer Handschrift notiert Leibniz bald darauf eine Idee:

Diese Art Kalkül könnte auch mit einer Maschine ausgeführt werden [ohne Räder]. Auf folgende Weise sicherlich sehr leicht und ohne Aufwand: [...] Eine Büchse soll so mit Löchern versehen sein, dass diese geöffnet und geschlossen werden können. Sie sei offen an jenen Stellen, die jeweils 1 entsprechen, und bleibe geschlossen an denen, die 0 entsprechen. Durch die offenen Stellen lasse sie kleine Würfel oder Kugeln in Rinnen fallen, durch die anderen nichts (Leibniz 1966: 46).

Leibniz scheint diese Idee einer binären Rechenmaschine nie weiter verfolgt zu haben. Hier wird jedoch klar, dass Leibniz in und für Medientechniken denkt. Die Dyadik lebt die folgenden Jahre bis 1701 nur in Briefen und Handschriften und einigen wenig bekannten Publikationen. Die Infrastruktur jeder Theodizee bei Leibniz ist, wie gesagt, eine Technodizee.

Im Jahre 1684 ist der junge Astronom und Mathematiker Joachim Bouvet daran beteiligt, auch eine französische Zelle in der jesuitischen Mission in China zu installieren. An seine Mutter schreibt er von unterwegs, es bereite ihm große Freude, die Spuren („vestiges“) des Christentums überall am Wegesrand zu finden. Bouvet avanciert schnell in den Rängen und wird 1688 der Mathematiklehrer des Kaisers. Er zeigt außergewöhnliches Interesse an den westlichen exakten Wissenschaften und lässt 1713 das erste mathematische Collegium in China gründen. 1693 erhält Bouvet aus Paris den Auftrag, chinesische Wissenschaftler mit nach Hause zu bringen, um eine

„Académie Chinoise“ nach dem Modell der Académie Royale zu gründen. Bouvet kommt jedoch alleine. Während seines Aufenthaltes in Paris liest er die von Leibniz herausgegebenen *Novissima Sinica*, tritt 1697 erstmals mit diesem in Kontakt und wird neben einigen anderen Jesuiten dessen vorrangiger Ansprechpartner in einem regen Austausch.

Anfang November 1700 schreibt Bouvet nach längerer Pause einen Brief an Leibniz, den er unvermittelt beginnt:

[...] einige glauben, dass das Y-king, das älteste Werk Chinas und vielleicht der Welt, die wahre Quelle ist, aus der diese Nation (nach dem Gefühl der Gelehrten) alle seine Wissenschaften und Sitten und Gebräuche gezogen hat. (Leibniz 2006: 274)

Dieser Brief markiert Leibniz' ersten Kontakt mit dem Yijing, seinem angeblichen Schöpfer „Fohii“, der Gottheit Fuxi, der ebenfalls die Schrift erfunden haben soll, und seiner Eigenschaft als System, das „in der Tat alle anderen Wissenschaften umfasst“, wie Bouvet verspricht, bevor er im weiteren Verlauf ins kleinste numerologische Detail geht und über ein „einzigartiges Verhältnis dieses Zahlensystems [...] mit denen des Pythagoras und Platon“ jubelt (Leibniz 2006: 278–280).

Offenbar noch bevor Leibniz diesen Brief erhält, schreibt er am 15. Februar an Bouvet:

Ich weiß nicht, ob ich bereits andere Male, als ich Euch schrieb, das neue Zahlenkalkül erwähnte habe, das ich erfunden habe, nicht für die gewöhnliche Anwendung, sondern für die Theorie der Wissenschaft, weil sie ein großes Feld für neue Theoreme eröffnet; und vor allem bietet diese Rechnung eine bewundernswerte Darstellung der Schöpfung. Folgt man dieser Methode, zeigt sich, dass alle Zahlen sich durch eine Mischung der Einheit und der Null schreiben, ungefähr so, wie alle Kreaturen ausschließlich von Gott und dem Nichts kommen (Leibniz 2006: 304).

Anschließend erläutert er seine Methode, nach der sich die Zahlen wie von selbst schreiben und gibt mehrere Tafeln an, auf denen „sich auf den ersten Blick eine wunderbare Harmonie entdecken lässt, nämlich dass es geregelte Perioden in jeder Spalte gibt.“ Im selben Brief kommt er erneut auf seine *Ars characteristica* zu sprechen, von der er mittlerweile glaubt „dass man eine Art und Weise finden könnte, diese mit den alten Schriftzeichen des Chinesischen zu kombinieren“ (Leibniz 2006: 306, 316).

Bereits am 4. November 1701 antwortet Bouvet und berichtet, ganz aus dem Häuschen, von der wundersamen Beziehung,

in der, wie ich finde, Ihre Prinzipien mit jenen stehen, auf denen meiner Vorstellung nach die Wissenschaft von den Zahlen der alten Chinesen ebenso beruhte wie die übrigen Wissenschaften, deren Kenntnis ihnen verloren gegangen ist.

Er ist überzeugt, dass Leibniz' Tafel „ohne jede Veränderung identisch sei mit dem System der *gua* oder kleinen Striche des Fürsten unter den Chinesen, nämlich Fuxi“ (Leibniz 2006: 333–335). Anschließend lässt er Leibniz rechnen: bis 64 solle er die Progression fortführen, die Nullen in gebrochene Linien (— —), die Einsen in durchgehende (—) umschreiben und in einem Kreis anordnen, der anschließend mit einer von Bouvet beigefügten chinesischen Figur zu vergleichen sei (Ryan 1996: 59–90).

Die Tri- und Hexagramme stehen zwar mit Leibniz' Binärdarstellung in einer gewissen isomorphen Relation, Bouvet ging aber in missionarischer Hybris so weit, die klassischen Darstellungen der Hexagrammzyklen, die von Leibniz' Folgen in ihrer Reihenfolge abweichen,

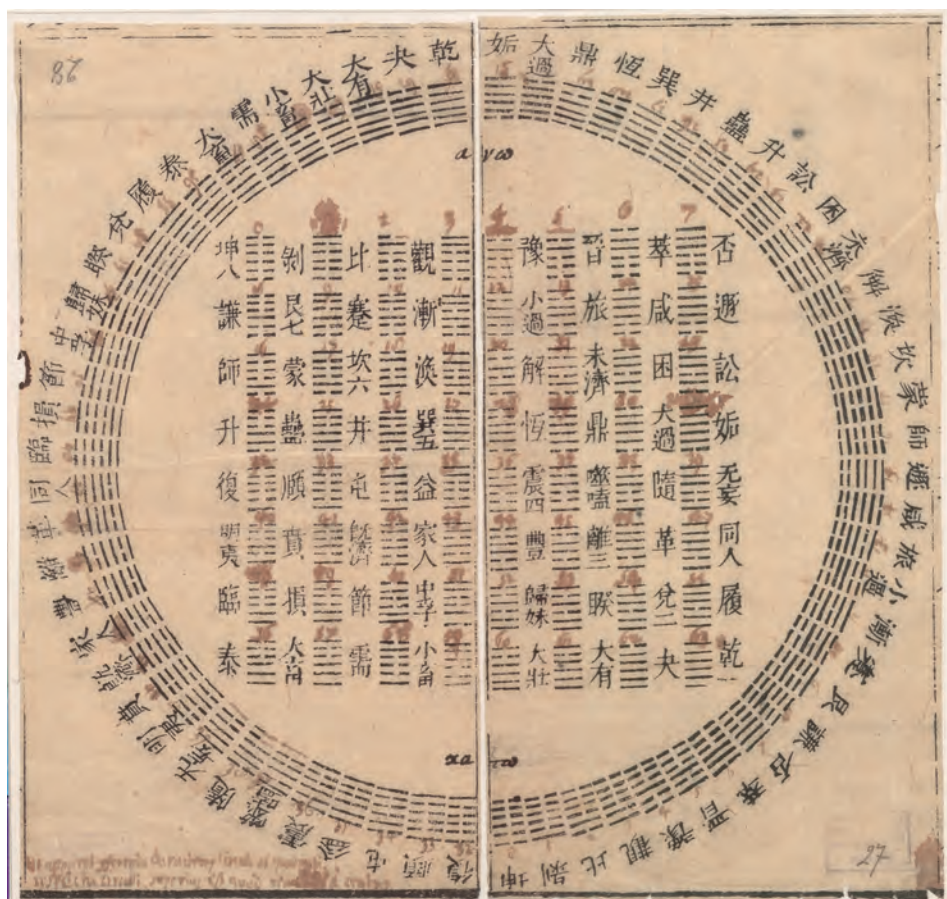


Abbildung 1. Die Hexagramme aus dem Buch der Wandlungen in Bouvets Brief an Leibniz

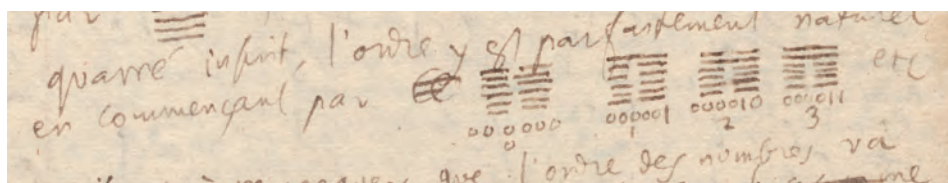


Abbildung 2. Korrespondenz der Hexagramme aus dem Buch der Wandlungen mit der Leibniz'schen Dyadik in Leibniz' Brief an Bouvet, die sich auch in der „Explication de l'Arithmétique Binaire“ wiederfindet

denen von Leibniz anzupassen (Mungello 1971: 15). Leibniz, dem unter Umständen mittlerweile eine Ausgabe des Yijing vorlag, wird in seinem Antwortschreiben vom 18. Mai 1703 skeptisch.

Am 28. Juli 1704 berichtet Leibniz Bouvet von seiner Beschäftigung mit „einer Art philosophischer Elemente nach Art derjenigen des Euklid, die man Elemente der ewigen Wahrheit nennen könnte“ und den dazu notwendigen

Definitionen, die es ganz neu aufzustellen gilt. [...] Ich hoffe, so mein System der Monaden oder einfachen Substanzen zu beweisen, die alles begründen und die, ohne voneinander abhängig zu sein, sich zueinander fügen kraft der Harmonie, die ihr gemeinsamer Schöpfer in ihren Naturen im Voraus festgelegt hat. (Leibniz 2006: 457)

1706 schreibt er ein letztes Mal an Bouvet: wissenschaftliche und kulturelle Miscellanea, die Bitte um eine Anleitung zum in China „weiqi“ genannten Go Spiel, Triviale über Porzellan, beste Wünsche.

Der Kontakt mit anderen Jesuiten in China und den China-interessierten Forschern und Politikern in Europa reißt bis 1714 nicht ab, und Leibniz wird auch im mittlerweile hohen Alter nicht müde, in Vorträgen, wie etwa am 1. Juli 1714 „vor einer gewissen Wiener Akademie“, seine Historie einer allmählichen Bewusstwerdung eines universalen, wissenschaftlich kontextualisierten Menschheitswissens zu entwickeln, das Griechenland und China zusammen denkt (Widmaier 2006: CXXVI; Riley 1976: 213–216).

Es war damals einige Jahrzehnte her, dass Leibniz mit einem der vehementesten Gegner der Jesuiten, dem Jansenisten und einstigen Kopf von Port Royal Antoine Arnauld in einem energischen Briefwechsel zu Struktur und Inhalt seines *Discours de métaphysique* zwischen 1686 und 1690 die Grundkonzepte einer „einfachen Substanz“ und „prästabilierten Harmonie“ entwickelt hatte (Leibniz 1996: 389–445). Gleichzeitig hatte er den soeben von einer Gruppe von Jesuiten herausgegebenen Band *Confucius Sinarum Philosophus* [1687] gelesen und dort die zentralen (neo-)konfuzianischen Begriffe 理 (li, Muster, Erscheinung) 氣 (qi, Pneuma) kennengelernt (Mungello 1971: 4). Mit den Elementen des Euklid war er offensichtlich wohlvertraut und es schwebte ihm ein ähnlich strenger Aufbau für jenen Text vor, um den es im Folgenden gehen soll. Ob Leibniz Matteo Riccis chinesische Übersetzung der Elemente, den *Jihe Yuanben* von 1607 tatsächlich gelesen hatte, ist ungewiss. Fest steht nur, dass ihm sehr wohl bekannt war, dass sie existierte.

Leibniz' Monaden – den Titel Monadologie verwendet Leibniz selbst nie, er wird erst in der deutschen Übersetzung von 1720 eingesetzt (Finster und Van den Heuvel 2005: 64) – entstehen über diese Jahre genau wie das, was sie selbst sind: In kleinen Wahrnehmungen, als fraktal fragmentierter Organismus, im und als Netzwerk. Viele Genealogien und Interpretationen der Monadologie sind möglich und existieren. Wir wollen uns hier auf die Suche nach der bisher wenig untersuchten⁴ chinesischen Intuition in dieser Schrift konzentrieren. Die Frage lautet nämlich nicht mehr, ob chinesische Wissenschaft und chinesisches Wissen Leibniz beeinflusst haben, sondern wie sehr.

Die Monadologie ist – ähnlich dem Yijing – ein universell angelegtes, diskretes Repositium von Konzepten mit einer konsistenten Systematik, in der ihr Autor die zentralen Begriffe seiner Wissenschaft ordnet: Kombinatorik, Analysis, Characteristica universalis, Philosophie, Physik und Metaphysik, sowie die Ideen zur chinesischen Schrift weisen ebenso in die Monadologie, wie sie aus ihr extrapolierbar sind. Sybille Krämer zufolge bleibt es allerdings strittig,

worauf die Systematik sich beziehe, ob sie als ontologische oder epistemische Ordnung zu verstehen, als ein System von Beschreibungen über die Welt oder als ein System von Beschreibungen über Struktur und Erwerb des Wissens über die Welt aufzufassen sei. Ist das erste der Fall, bildet den Kristallisationskern der Leibnizschen Philosophie seine Metaphysik; ist das zweite der Fall, dann seine Logik. (Krämer 1991: 220)

Der Punkt liegt wahrscheinlich eben in dieser Strittigkeit zwischen Metaphysik und Logik, aus der heraus Leibniz als Denker in und von Medien entsteht.

Joseph Needham, der neben seiner Tätigkeit als Wissenschaftshistoriker vor allem Biochemiker war, spricht sich als erster großer Forscher im 20. Jahrhundert dafür aus, dass Leibniz – als erster europäischer Philosoph des Organischen – in der Zeit zwischen der Grundlegung seiner metaphysischen Prinzipien im *Discours de métaphysique* und dem Feinschliff seiner formalen Organismen in der Monadologie ein Denksystem entwickelte,

[which] was strongly influenced by, if not indeed derived from, the organic world-outlook which we have found to be characteristically Chinese. [...] It might almost be said that the monads were the first appearance of organisms upon the stage of occidental philosophy. The hierarchy of monads and their 'pre-established harmony' resembled the innumerable individual manifestations of the Neo-Confucian Li in every pattern and organism. Each monad mirrored the universe like the nodes in Indra's net. (Needham 1956: 498)

Obwohl Leibniz lange Zeit zu Golius' Theorie des Chinesischen als artifizieller Sprache tendierte, wird in der Organik der Monadologie evident, wie sehr seine lebenslangen Annäherungsversuche an die chinesische Schrift aus unterschiedlichsten Richtungen zu einer intuitiven Erkenntnis dieses Schriftsystems geführt haben:

64. So ist jeder organische Körper eines Lebendigen eine Art göttlicher Maschine oder natürlicher Automat, der alle künstlichen Automaten unendlich übersteigt. Denn eine durch die Kunst des Menschen gemachte Maschine ist nicht in allen ihren Teilen Maschine (Leibniz 2002a: 139).

Leibniz' unendlich subtile, ausdifferenzierte Maschinen sprechen und schreiben sich, könnte man vermuten, auf Chinesisch. Christoph Harbsmeier liefert eine Definition dieses Schriftsystems als Organismus, die dessen Distanz zum organisch-mechanischen System der Monaden fast verschwindend klein werden lässt:

Chinese grammatical structures are only sufficiently well-defined to articulate meaning, but at the same time flexible enough not to impose rigid structure where such structure does not serve an articulatory or communicative purpose. [...] The Chinese would, then, not only have held an organicist world view. They would also have expressed this world view in a medium of communication which was much more (organically?) supple and less rigid in its articulatory strategies than languages like Latin or Greek. Grammatical suppleness and flexibility should not be confused with (mechanical) grammatical looseness or lack of precision. Classical Chinese grammar is certainly much more precise than would appear from current descriptions. Organisms are precisely structured subtle things. They are more highly structured than a very advanced rigid device. What I am suggesting is that Chinese is highly structured in supple and subtle ways analogous to those of organisms. (Harbsmeier und Needham 1998: 142)

Wo wir als brav geschulte westliche Wissenschaftler jedoch vermuten, dass Leibniz wohltradierte Ideen von Substanz und Zeichen schlicht nach China projiziert, erweist sich genau das Gegenteil als der Fall. Das wird deutlich, wenn wir einen der letzten Texte betrachten, den Leibniz geschrieben hat.

Deus ex China

Bereits ab 1713, also genau in der Entstehungszeit der Monadologie, ist Leibniz in Briefkontakt mit Nicolas-François Rémond, der sich wie viele andere an Leibniz als „Bureau d'adresse pour la Chine“ wendet und ihn über die nächsten drei Jahre löchert: „Je ne vous quitte pas des Chinois.“ Nach fast drei Jahren Korrespondenz gibt sich Leibniz nun einen Ruck und beginnt mit der Niederschrift seines *Discours sur la Théologie Naturelle des Chinois*, dessen erste Fassung er bereits Mitte Januar 1716 fertigstellt. In der Fragment gebliebenen Schrift befasst sich Leibniz mit dem zentralen Begriff der chinesischen Naturphilosophie, 理 (li, pattern, Muster, erstes Prinzip).

Li, so Leibniz, sei „Regel [...] Ursache oder Fundament aller Natur [...] und sehr universelle Substanz.“ In einer gestrichenen Stelle spekuliert er über Li als „Quelle alles Guten in den Dingen; die erste Intelligenz, die von Anaxagoras und den anderen alten Griechen und Lateinern *Nous* oder Geist genannt wurde.“ Weiter, dass die Chinesen dieses „erste Prinzip“ – diese Übersetzung wird bis heute in der Sinologie für Li eingesetzt –

das Sein, die Substanz, die Wesenheit nennen. Diese Substanz ist, nach ihnen, unendlich, ewig, ungeschaffen, unveränderbar, ohne Ursprung und ohne Ende. [...] Sie nennen es auch die einfache oder höchste Einheit. [...] Auch gibt es bei den Substanzen, bei den Essenzen des Universums, eine, die souverän *einé* ist, die nicht fähig ist zur Teilung außer durch ihre eigene Einheit [...] Aber sie ist auch Aggregat, oder die perfekteste Vielheit. (Leibniz 2002b: 27)

Legen wir die monadologische Maske über diesen Text, werden wir gleich in den Paragraphen 2 und 3 fündig:

2. Einfache Substanzen muss es geben, weil es Zusammengesetzte gibt; denn das Zusammengesetzte ist nichts als eine Anhäufung oder ein *Aggregat* von Einfachen
3. Dort, wo es keine Teile gibt, gibt es weder Ausdehnung noch Gestalt, noch mögliche Teilbarkeit. Es sind diese Monaden die wahrhaften Atome der Natur und, kurz gesagt, die Elemente der Dinge (Leibniz 2002a: 111).

Wo Leibniz im *Discours* schreibt, *li* bezeichne „allgemein die geistige Substanz oder Entelechie“ (Leibniz 2002b: 37), lesen wir in der Monadologie: „Den einfachen Substanzen oder geschaffenen Monaden könnte man den Namen der Entelechien geben“ (Leibniz 2002a: 117). Leibniz leitet etwas später zur binären Arithmetik über und bald darauf reißt der Text ohne Satzzeichen ab.

Leibniz hat große Teile dieses *Discours* bereits in seinen *Annotationes de cultu religioneque Sinensium* [1708] angelegt, in denen er sich, wie auch im *Discours*, gegen die Streitschriften der erfolgreichen jesuitischen China-Missionare Niccolao Longobardi und Antoine de Sainte Marie – den *Traité sur quelques points de la religion des Chinois* und den *Traité sur quelques points importants de la Mission de la Chine* –, sowie gegen Nicolas Malebranches *Entretien d'un*

philosophe chrétien et d'un philosophe Chinois [1707] wendet. Es ist deswegen klar, dass Leibniz im *Discours* bereits existentes monadologisches Vokabular mit einem chinesischen Diskurs vereint. Dennoch geht diese Schrift der *Monadologie* voraus und ist in Teilen deckungsgleich.

Das Wort „Monade“ kommt im gesamten *Discours* ebenso wenig vor, wie *li* in der *Monadologie*. Durch die zeitliche Koinzidenz der *Annotationes*, *Monadologie* und des *Discours*, die dargelegte Auseinandersetzung von Leibniz mit so vielen Facetten der chinesischen Kultur und Wissenschaft und nicht zuletzt durch die textuelle Überlappung von „Monade“ und *li* ist jedoch eindeutig, dass diese Projektion von einem Punkt aus stattfindet, in dem Leibniz' Denken bereits wesentlich chinesisch ist.

Dies ist nur ein kleiner Einblick in ein Teilgebiet des Leibniz'schen Sprach- und Netzwerkdenkens. Er denkt in Netzwerken und denkt deswegen zwangsläufig Netzwerke. Seine Netzwerke sind teils organisch, teils technisch, teils philosophisch. Sprachen und Schriften, merkt Leibniz in einer wie nie zuvor globalisierten Welt, sind ebenfalls Netzwerke, und Netzwerke wiederum sprechen Sprachen und schreiben Schriften – natürliche, technische, formale, künstliche.

Diese Art, zu denken und Wissen zu produzieren, weist bereits voraus in eine Kybernetik, wie sie der Leibnizianer Norbert Wiener ausgehend von seinen eigenen Studien in China in den 1930ern andeuten wird. Noch vor der kybernetischen Kriegstechnik des Zweiten Weltkriegs und Wiens Nachkriegsarbeiten zur kybernetischen Schleifenwelt, in der wir uns heute längst bewegen, entwarf er mit chinesischen Kollegen, die er später auf die Macy Konferenzen mitnimmt und mit denen er teils lebenslang am MIT zusammenarbeitet, u. a. Telefonnetze und Analogrechner. Parallel dazu lernte er die chinesische Schrift und Sprache und die Naturphilosophien des Daoismus und Neokonfuzianismus – zwei Schulen, die das Vernetzte und ineinander Zurückwirkende in ihrem Zentrum stehen haben.

Das sei zum Schluss nur angedeutet: Die chinesische Spur in unseren Medien entsteht eben nicht bei Foxconn und endet im iPhone. Sie beginnt bei Leibniz und verläuft über Norbert Wiener.

Anmerkungen

1. Sofern nicht anders vermerkt, stammen alle folgenden Übersetzungen vom Autor.
2. Leibniz (1666) „Fiet igitur omnis talis scriptura quasi figuris geometricis, et velut picturis, uti olim Aegyptii, hodie Sinenses verum eorum picturae non reducuntur ad certum Alphabetum seu literas, quo fit ut incredibili memoriae afflictione opus sit, quod hic contra est.“
3. Philolaos (Fragment B5): „Die Zahl nun aber hat zwei Anblicke eigen, den geraden und den ungeraden [...]“.“
4. Anmerkung: Es bleibt erstaunlich, dass trotz der zwar unsystematischen, jedoch andauernden und sehr umfassenden Auseinandersetzung Leibnizens mit China große Teile der Leibniz-Forschung diese Thematik bisher völlig unbeachtet gelassen bzw. als exotisches Kleinod betrachtet haben. Ausnahmen bilden: Lach 1940, 1945; Needham 1954–; Mungello 1971, 1985, 1999; Swiderski 1980–81; Cook/Rosemont 1981; Widmaier 1983; Ryan 1996; Martzlo 1997; Harbsmeier/Needham 1998; Riley 1999; Li/Poser 2000; Ribas 2003; Perkins 2004.

Abbildungsnachweise

Abb. 1: Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek, LK-MOW Bouvetio Bl 27–28

Abb. 2: Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek – Niedersächsische Landesbibliothek, LK-MOW Bouvetio Bl. 31v

Literatur

- Cook, Daniel J. und Rosemont, Henry (1981). „The Pre-established harmony between Leibniz and Chinese thought“. In: *Journal of the History of Ideas* 42 (2), S. 253–267.
- Diels, Hermann (1966). *Die Fragmente der Vorsokratiker*, Griechisch/Deutsch. Hrsg. von Walther Kranz. Zürich: Weidmann.
- Finster, Reinhard und Heuvel, Gerd Van den (2005). *Gottfried Wilhelm Leibniz*. Reinbek: Rowohlt.
- Harbsmeier, Christoph und Needham, Joseph (1998). *Science and Civilisation in China*, Vol. VII, Part I: *Language and Logic*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Krämer, Sybille (1991). *Berechenbare Vernunft. Kalkül und Rationalismus im 17. Jahrhundert*. Berlin/New York: Walter de Gruyter.
- Lach, Donald F. (1940). „The Chinese Studies of Andreas Müller“. In: *Journal of the American Oriental Society* 60 (4), S. 564–575.
- Lach, Donald F. (1945). „Leibniz and China“. In: *Journal of the History of Ideas* 6 (4), S. 436–455.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (seit 1923). *Sämtliche Schriften und Briefe*. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Berlin / Boston: Walter de Gruyter.
- (seit 1849). *Die philosophischen Schriften*. Hrsg. von Carl Immanuel Gerhardt. Hildesheim/New York: Georg Olms Verlag.
- (1966). „Explication de l'Arithmétique Binaire, 1703“. In: *Herrn von Leibniz' Rechnung mit Null und Eins*. Berlin/München: Siemens Aktiengesellschaft.
- (1996). „Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie, Teil II“. In: *Philosophische Werke in vier Bänden in der Zusammenstellung von Ernst Cassirer*, Band 2. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- (2002a). *Monadologie und andere metaphysische Schriften*. Hrsg. von Ulrich Johannes Schneider. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- (2002b). *Discours sur la Théologie Naturelle des Chinois*. Hrsg. von Hans Poser und Wenchao Li. Hamburg: Vittorio Klostermann.
- (2006). *Der Briefwechsel mit den Jesuiten in China (1689–1714)*. Hrsg. von Rita Widmaier. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Li, Wenchao und Poser, Hans (2000). *Das Neueste über China. G. W. Leibnizens Novissima sinica von 1697*, *Studia Leibnitiana – Supplementa* 33. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Martizloff, Jean-Claude (1997). *A History of Chinese Mathematics*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Mungello, David E. (1971). „Leibniz's interpretation of Neo-Confucianism“. In: *Philosophy East and West* 21 (1), S. 3–22.
- Mungello, David E. (1985). *Curious Land: Jesuit Accommodation and the Origins of Sinology*, *Studia Leibnitiana, Supplementa* 25. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Needham, Joseph (seit 1954). *Science and Civilisation in China*, Volume I–V. Cambridge: Cambridge University Press.
- Perkins, Franklin (2004). *Leibniz and China. A Commerce of Light*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ribas, Albert (2003). „Leibniz' Discourse on the Natural Theology of the Chinese and the Leibniz–Clarke Controversy“. In: *Philosophy East and West* 53 (1), S. 64–86.
- Riley, Patrick (1976). „An Unpublished Lecture by Leibniz on the Greeks as Founders of Rational Theology. Its Relation to his 'Universal Jurisprudence'“. In: *Journal of the History of Philosophy* 14 (2), S. 205–216.
- Ryan, James A. (1996). „Leibniz' Binary System and Shao Yong's 'Yijing'“. In: *Philosophy East and West* 46 (1), S. 59–90.
- Widmaier, Rita (1983). *Die Rolle der chinesischen Schrift in Leibniz' Zeichentheorie*. *Studia Leibnitiana, Supplementa* 24. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- (2006). „Einführung“. In: *Der Briefwechsel mit den Jesuiten in China (1689–1714)*. Hrsg. von Rita Widmaier. Hamburg: Felix Meiner Verlag.

Logik und Universalsprache – Leibniz' Ideen 200 Jahre später

Die Zahl im Titel dieses Beitrages mag im Hinblick auf das Leibniz-Jubiläum im Jahr 2016, dem 300. Todestag des Gründers der Akademie, als Lapsus erscheinen. Blicken wir aber einhundert Jahre zurück, so richtet sich unser Augenmerk auf eine Zeit, die durch eine große Vielfalt an Sprachprojekten besticht und in den Bereichen der Logik sowie der Sprachphilosophie als Leibniz-Renaissance gilt.¹ In diesem Beitrag interessiere ich mich für die Fortsetzung der Sprachprojekte Leibniz' – des logischen *calculus ratiocinator* und der *characteristica universalis* – im Werk des italienischen Mathematikers Giuseppe Peano (1858–1932), der sich explizit und detailliert auf Leibniz' Werke bezog. Obgleich Peano sich schon früh mit der ideographischen Formulierung der Grundlagen der Mathematik beschäftigte und sich für Volapük, Esperanto und viele andere Universalsprachen interessierte und engagierte, waren die Veröffentlichungen von *La logique de Leibniz: d'après des documents inédits* (1901) und der *Opuscules et fragments inédits de Leibniz* (1903) durch Louis Couturat (1868–1914) ausschlaggebend für Peanos Forschungen sowohl zur Logik als auch zu Universalsprachen. Inspiriert von Leibniz publiziert er 1903 in seiner Zeitschrift *Rivista di Matematica* sein Konzept einer Art vereinfachten Lateins, des *Latino sine flexione*, das er ab 1906 zur Fortführung seines enzyklopädischen *Formulario Mathematico* und weiterer wissenschaftlicher Publikationen nutzt. Die Erfolge und Misserfolge von Peanos Werk relativieren den utopischen Charakter der Leibniz'schen Projekte. Die Symbolsprache der Logik entwickelte sich zum wesentlichen Medium der modernen, universal formalisierten Mathematik, Peanos Projekte werfen aber auch Fragen nach der generellen Möglichkeit einer Kunstsprache auf, die die Vielfalt der natürlichen Sprachen universal einbinden soll. Peano hat nach 1908 als Direktor der *Academia pro Interlingua* am eigenen Leibe die „wilden Kämpfe der Konkurrenten unter sich und gegen Volapük“ erfahren und versucht, dem ephemeren Charakter vieler allzu dogmatischer Sprachprojekte seiner Zeit durch weltweite Kollaborationen und Konkordia entgegen zu wirken (Peano 1929: 233). Dabei spielte auch, wie bei Leibniz, die chinesische Sprache und Schrift eine Rolle, die hier auch insbesondere als implizite Verbindung zwischen Leibniz und Peano erörtert werden soll.²

1 Logik – das Ende vom Traum

Après deux siècles, ce „songe“ de l'inventeur du Calcul infinitésimal est devenu une réalité.
(Peano 1896: 2)

[Nach zwei Jahrhunderten ist dieser „Traum“ des Erfinders der Infinitesimalrechnung Wirklichkeit geworden.]

Als Peano zur zweiten Ausgabe seiner mathematischen Formelsammlung, dem *Formulaire de Mathématiques* (1896),³ eine historisch detailliert untermauerte Einführung in die Konzeption

der Notation mathematischer Logik verfasst, glaubt er, Leibniz' Projekt einer „Spécieuse Générale“, in der jeder Gedankengang zu einer Art Kalkül reduziert werden sollte, erfüllt zu haben. Präzise, konzis geschrieben, frei von Ambiguitäten und Fehlern, sollten Peanos Symbole die natürliche Sprache ersetzen, deren Unschärfe beseitigen und lediglich Rechenfehlern ausgesetzt sein. Mathematische Logik, so Peano, sei auch deshalb natürlichen Sprachen überlegen, weil sie nicht Konventionen, sondern nur Wahrheiten auszudrücken und hervorzubringen vermag. Sie ist nicht eine Lösung, sondern DIE Lösung von Leibniz' Problem.⁴ Immer wieder beruft er sich dabei auf Leibniz' Schriften, darunter insbesondere sein Schüleressay *De arte combinatoria a. 1666*⁵ und die 1840 erschienene Sammlung von Manuskripten und teils bis dato unveröffentlichten Fragmente der Bibliotheca Regia Hanoverana, die *Opera philosophica*.⁶ Insbesondere zitiert Peano mit genauen Seitenangaben⁷ die darin enthaltenen *Préceptes pour avancer les sciences*, die Schrift *Historia et commendatio linguae charactericae universalis, quae simul sit ars inveniendi et judicandi* und Leibniz' berühmte Briefe an Pierre Rémond de Montmort (1678–1719), in denen er bedauert, zu Lebzeiten nicht wenigstens noch einen Teil der Charakteristik oder „Spécieuse Générale“ entwickeln zu können. Damit Peano nicht dasselbe Schicksal erfährt, ruft er seine Leser am Ende der *Introduction au tome II du „Formulaire de Mathématiques“* auf, sich seinem fast enzyklopädischen Projekt, alle Propositionen, Beweise und Methoden der mathematischen Wissenschaften mit Symbolen in Formeln zu verfassen, anzuschließen und bei seiner Fortführung und Fertigstellung mitzuhelfen:

Ce projet est assurément beau. Malheureusement son execution surpasse les forces, non d'un homme, mais de plusieurs hommes. Seulement une société nombreuse et bien organisée pourrait l'accomplir.⁸

[Dieses Projekt ist auf jeden Fall schön. Leider übersteigt seine Ausführung die Kräfte, nicht nur eines Mannes, sondern mehrerer Männer. Lediglich eine vielköpfige und gut organisierte Sozietät könnte dies bewerkstelligen.]

Peanos Projekt sollte aber nicht nur ästhetischen Ansprüchen genügen, sondern auch praktische und didaktische Funktionen erfüllen. Die komplette Sammlung aller bisher bekannten Theoreme, durch die Verwendung einer, die mathematische Logik erheblich verkürzenden pasigrafischen Notation,⁹ sollte dem Studierenden zum Beispiel erlauben, rasch nachzuschlagen, was zu einem bestimmten Thema bereits bewiesen wurde, oder dem Forschenden zu entscheiden helfen, ob ein möglicherweise neues Resultat tatsächlich noch unbekannt sei.¹⁰

Auch der historisch interessierte Leser kommt in Peanos *Formulaire* auf seine Kosten,¹¹ denn ganz im Sinne einer Leibnizschen Enzyklopädie enthält es auch Referenzen zu den historischen Ursprüngen eines jeden Symbols und Theorems sowie Zitate aus den entsprechenden Quellen. Der Name Leibniz fällt dabei häufig, ebenso zitiert werden Aristoteles, Euclid, Diophant, Pascal, Descartes, Wallis, Legendre, Boole und viele andere Mathematiker. Die Belesenheit und das globale Interesse Peanos zeigen sich insbesondere in seinen Bezügen zu nicht-westlichen Traditionen, Indien und China. Aryabhata, Brahmagupta oder Zhu Shijie fehlen nicht in seinem „Wörterbuch“ der mathematischen Wahrheiten,¹² das er durch einen bibliographischen und biographischen Anhang vervollständigt.¹³ Darauf komme ich weiter unten noch im Rahmen von Peanos Plansprache¹⁴ ‚Latino sine flexione‘ zurück.¹⁵

Die Entwicklung des *Formulaire de Mathématiques* vom ersten Band (1892–95) bis zur vierten Edition von 1902–03 zeigt, wie Peano Leibniz' Vorstellungen einer Enzyklopädie¹⁶ zu-

nehmend gerecht wird und dessen Traum durch vielfältige Kollaborationen verwirklicht:

Le Formulaire maintenant, par l'abondance des propositions, des indications historiques et bibliographiques, joue le rôle d'une Encyclopédie. Toutes les idées du Formulaire sont introduites par des définitions régulières. Dans plusieurs théories les propositions sont accompagnées de la démonstration (et aussi de plusieurs démonstrations). Il est donc possible d'extraire du Formulaire des cours d'enseignement [...]. Les additions donnent l'idée du développement successif du Formulaire. Il n'est pas un traité, où toute addition en détruit l'harmonie. Tout lecteur peut collaborer au Formulaire, en y ajoutant des nouvelles théories, ou des propositions et des démonstrations nouvelles dans les théories insuffisamment développées; on peut perfectionner l'histoire des mathématiques, en remontant à des âges [sic] plus reculées [sic] les indications du Formulaire; on peut y corriger les erreurs typographiques et de toute nature, qui restent dans la composition des formules.

M. VACCA nous a de nouveau puissamment aidé dans ce volume, comme dans les précédents t.2 et t.3. (Peano 1901b: VIII–IX)

[Das Formulaire erfüllt jetzt, durch seine Fülle an Propositionen und an historischen und bibliographischen Hinweisen, die Aufgabe einer Enzyklopädie. Alle Ideen des Formulaire werden durch reguläre Definitionen eingeführt. In einigen Theorien sind die Präpositionen durch den Beweis (und auch durch mehrere Beweise) ergänzt. Es ist deshalb möglich, Auszüge aus dem Formulaire als Unterrichtseinheiten zu gestalten. [...] Die Hinzufügungen geben einen Einblick in die Entwicklung des Formulaire. Es ist kein Werk, dessen Harmonie durch jegliche Hinzufügung zerstört wird. Alle Leser können am Formulaire mitarbeiten, indem sie neue Theorien hinzufügen, oder neue Propositionen und Beweise in nicht zureichend entwickelten Theorien; man kann die Mathematikgeschichte perfektionieren, indem man die Hinweise des Formulaire in eine frühere Zeit zurückverfolgt; man kann Tippfehler korrigieren und Fehler jeglicher Art, die in der Abfassung der Formeln unterlaufen sind.

Herr VACCA hat bei diesem Band erneut tatkräftig mitgeholfen, ebenso wie bei den Bänden 2 und 3.]

Der hier erwähnte Monsieur Vacca ist niemand anderes als Giovanni Vacca (1872–1953), Peanos Assistent von 1887 bis 1905. Er spielte eine entscheidende Rolle in der Leibniz-Renaissance, da er 1899 auf Peanos Anregung hin,¹⁷ aber auch aus eigener Leidenschaft für Logik, Leibniz' Manuskripte in der Hannoverschen Bibliothek konsultierte,¹⁸ um das *Formulaire* zu erweitern und historisch zu untermauern. Im selben Jahr äußert der Altphilologe Hermann Diels (1848–1922) in einer Festrede über ‚Leibniz und das Problem der Universalsprache‘ an der Akademie vehemente Zweifel an der weiteren Bedeutung von Leibniz für das zwanzigste Jahrhundert:

Wird LEIBNIZ auch dem kommenden Jahrhundert noch etwas sein, wird vor allem unserer Akademie aus seinem unermesslichen Gedankenschatze noch irgend ein bisher weniger beachtetes Kleinod an's Licht zu heben beschieden sein? (Diels 1899: 581)

Diels ist hier zu pessimistisch. Vaccas Berichte von seinen Funden in Hannovers Archiven inspirierten den französischen Philosophen Louis Couturat dazu, Leibniz' Arbeiten zur Logik weiter zu untersuchen und die damit in Zusammenhang stehenden Fragmente zu publizieren.¹⁹ Diese wiederum bestärkten Peano in seinem Projekt, die natürlichen Sprachelemente der Mathematik durch eine Art algebraischen Kalkül zu ersetzen. Nicht immer folgt er dabei *verbatim* Leibniz' skizzenhaften Ideen, und man kann ihn durchaus als Innovator Leibnizscher Logikentwürfe einordnen, wohl aber nicht als Revolutionär.²⁰ So unterstreicht er zum Beispiel im Falle der logischen Addition, der ‚oder‘-Operation, dass man hier nicht wie Leibniz das Additionssymbol

der Arithmetik ‘+’ verwenden sollte, sondern, um Zweideutigkeiten zu vermeiden, den eigens dafür bestimmten Operator ‘ $\cup$ ’.²¹

Über die Logik im engeren Sinne hinaus hatte der Besuch Vaccas im Archiv noch sehr viel weitläufigere Konsequenzen. Vacca entdeckte dort auch Leibniz’ Überlegungen zur Binärarithmetik,²² sowie seine sprachphilosophischen Arbeiten. Inwiefern diese auf Peanos Umfeld wirkten und sowohl Vaccas als auch Peanos wissenschaftliche Orientierung veränderten, soll in den folgenden Abschnitten untersucht werden.

2 *Sprachen – La merveilleuse variété des opérations*

Problema de lingua internationale es proximo ad solutione. (Peano 1909: 1)

[Das Problem der internationalen Sprache ist seiner Lösung nahe.]

So beginnt Peano 1909 seinen Leitartikel im Organ der *Academia pro Interlingua*, zu deren Präsidenten er gerade ernannt worden war. Die *Academia pro Interlingua* ging aus der schon 1887 von dem Prälaten Johann Martin Schleyer (1831–1912) gegründeten *Weltspracheakademie* hervor, die der Verbreitung und Entwicklung seiner Plansprache Volapük dienen sollte. Die Sprache, die Peano im obigen Zitat verwendet, ist ein vereinfachtes Latein, das sogenannte „Latino sine flexione“. Diese von Peano für wissenschaftliche Kommunikation selbst entwickelte *a posteriori* Sprache, die er 1903 bereits in der von ihm herausgegebenen *Rivista di matematica* der Öffentlichkeit vorgestellt hatte, benutzten Peano, Vacca und andere Mathematiker auch zur Veröffentlichung mathematischer Schriften.²³ Zu ihrer Entwicklung, oder besser, wie Peano selbst sagt, zur „Berechnung“ dieser Sprache, wendete Peano die Prinzipien mathematischer Logik an, um eine Minimalform der notwendigen grammatikalischen und lexikalischen Bestandteile zu finden (Peano 1903–1904: 279–280).

Auch hier fällt wieder häufig der Name Leibniz, unterlegt mit ausführlichen Zitaten der von Couturat analysierten und edierten Manuskripte, in denen Leibniz zum logischen Kalkül analoge Methoden zur Reduktion grammatikalischer Regeln anwendet: weder Flexionen noch Modi und Pluralformen erweisen sich dabei als strikt notwendige grammatikalische Kategorien.²⁴ Als mathematisches Analogon erwähnt Peano, dass man auch bei der Multiplikation einer Variablen a , wie zum Beispiel $2a$ oder $3a$, das Symbol der mehrfachen Variablen nicht variiert.

Eine mathematisch derart auf ein Minimum an Regeln reduzierte Sprache, die zudem noch auf einem den europäischen Sprachen gemeinsamen Vokabular beruht, so glaubt Peano, sei sofort lesbar, klar und transparent, ohne unnütze Elemente, „ähnlich den Formeln der Algebra und der Logik“ (Peano 1913: 48). Sie sollte aber nur der Wissenschaft, d. h. der geschriebenen Kommunikation dienen und hatte hier auch gewisse Erfolge zu verzeichnen, wie die Diskussionen der *Academia pro Interlingua* im Laufe der Jahre zeigen. Ganz anders als die durch Schleiers Dogmatismus geprägte Vorgängerinstitution war Peano offen für Vorschläge von Linguisten, Logikern und Mathematikern zur Verbesserung von Plansprachen, und das betraf nicht nur seine eigenen, sondern auch eine Vielzahl anderer Projekte. Wie lebendig diese im frühen zwanzigsten Jahrhundert international diskutiert wurden, zeigt ein Brief, den Peano 1916 von dem in Riga lebenden russischen Rechtsanwalt, Literaten und Übersetzer Vsevolod Efgrafovič Češichin

(1865–1934)²⁵ erhält. Fast exakt zweihundert Jahre nach Leibniz' Tod bittet dieser Peano um seine Meinung zu den Statuten der von ihm in St. Petersburg mitbegründeten Gesellschaft der Kosmoglottisten. Der Brief spiegelt lebhaft die Vielfalt der Sprachprojekte und ihren Zusammenhang mit einer internationalen pazifistischen Bewegung wider:²⁶

Le 24 II/8 III j'ai vous écrit que je tâche à former à Petrograde la "Société des internationalistes, des philologues et des cosmoglottistes". Cette Société j'ai divisée en deux maintenant : 1) "Cosmoglotte", Société de la langue internationale, [...] 2) "Société de l'amitié réciproque internationale parmi la Russie et le peuple russe et les autres pays et nations". [...] Nous avons déjà 5 Sections du "Cosmoglotte" : 1) Reform Neutral (de M. Rosenberger), 2) L'idéographie grammaticale et néosinographie (mes pasigraphies), 3) Nepo (ma pasilalie), 4) Esperanto, 5) Section panslave (les pasilalies pour les slaves, comme par exemple ma "Neposlava").²⁷

[Am 8. März [1916] habe ich Ihnen geschrieben, dass ich mich darum bemühe, in Petrograd eine „Gesellschaft der Internationalisten, Philologen und Kosmoglottisten“ zu gründen. Diese Gesellschaft habe ich nun zweigeteilt: 1) „Kosmoglott“, Gesellschaft der internationalen Sprache, [...] 2) „Gesellschaft der gegenseitigen internationalen Freundschaft zwischen Russland und dem russischen Volk und den anderen Ländern und Nationen“. [...] Wir haben bereits 5 Sektionen in „Kosmoglott“: 1) Reform Neutral (von Herrn Rosenberger), 2) die grammatikalische Ideographie und Neosinographie (meine Pasigraphien), 3) Nepo (meine Pasilalie), 4) Esperanto, 5) eine panslawische Sektion (Pasilalien für Slaven, wie zum Beispiel „Neposlava“).]

Češichin selbst glaubte fest daran, die Lösung einer internationalen Sprache und Schrift gefunden zu haben. Sein fantastisches Vorhaben²⁸ bestand aus einer Kombination der Esperanto-Grammatik mit dem Wortschatz der lebenden Ethnosprachen sowie, um die Sache so universal wie möglich zu gestalten, der chinesischen Zeichenschrift. „International“ ist hier also wörtlich zu nehmen, wie man deutlich aus der folgenden (undatierten) Ankündigung, die er an Peano schickte, erkennen kann:

Annonce

Succesful solution di problema della internationalus scriptura est verso:

„Wsewolow Tscheschichin. Grammaticale ideografia et neosinografia. Modo litterärisch scribere cum lexicone en quelconque langue etranger sine connaissance d'une grammaticae; adoptione di scriptura chinense ad rôle d'une écrite langue universelle.“²⁹

[Ankündigung]

Die erfolgreiche Lösung des Problems der internationalen Sprache ist wie folgt:

„Wsewolow Tscheschichin. Grammatikalische Ideographie und Neosinographie. Im literarischen Modus schreibt man mit dem Wortschatz irgendeiner Fremdsprache ohne Kenntniss einer Grammatik; durch Benutzung chinesischer Schriftzeichen spielt sie die Rolle einer geschriebenen Universalsprache.“]

Da die Probleme der internationalen Schreibschrift aber für Europäer nicht so leicht durch das Erlernen der chinesischen Zeichenschrift gelöst werden konnten, „schlug Češichin ein kompliziertes System einer Ziffernpasigraphie vor, die auf dem Modell von Philipp Reiff (1792–1872) gründete.“³⁰ 1913 publizierte er seinen Entwurf des Ideographischen Nepo, einer *Variante der „grammatischen Ideographie und Neosinographie“*.³¹ Die „Hieroglyphen“ des chinesischen Satzes *Nin ce shi Hanzi wei jia zong xiehua wo suan cheng* 您策適漢字為假總寫話我算成, den er als Beispiel wählt und der wohl gleichzeitig die Machbarkeit seines Projektes suggerieren soll, findet man hier in der klassischen Reihenfolge von oben rechts nach unten links angeordnet. Die

römischen Ziffern bezeichnen die grammatikalischen Kategorien (I Substantive, II Adjektive, III Pronomen, IV Verben, etc.), die arabischen Ziffern dann, je nach Kategorie, Position, Geschlecht, Zahl, Kasus, etc. Das Symbol „*“ indiziert, dass man das entsprechende Adjektiv, Pronomen oder Partizip der Syntax gemäß an Geschlecht, Zahl und Kasus angleichen muss:³²

Den Satz: „Ihr Project der Anwendung der chinesischen Schriftsprache zur Rolle einer Welt-schriftsprache halte ich für erreichbar“, mit den Ziffern der grammatischen Ideographie links vor den Hieroglyphen stehend (rechts die Ziffer der internationalen „Dezimal-Bibliographischen Classification“, welche die „Classen“ der Begriffe bezeichnen), früher schrieb man:

III	iii	我	VIII		為		*III		您	
IV	iiii	算	I	010	假	792	I	011	策	155
*II		成	*II		總	(∞)	I	012	適	6
			*II		寫	4-7	*II		漢	(31)
			I	012	話	4	I	012	字	4-7

Jetzt schreibt man, indem man die „grammatischen“ Ziffern links eines jeden Hieroglyphen durch die grammatischen Esperantoendungen ersetzt, wie im deutschen Nepo: „Ihr.an project.on de anwendung.o de chinesisch.a schrift.o al rolle.o de welt.a schrift.a sprache.o ich halten.as erreichen.otan“.³³

Wie in Europa, waren zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts auch in Russland Ideen und Ansätze zu Plansprachen keine Rarität. Schon frühere Ansätze

waren mit dem Ziel verbunden, die slavischen Völker zu vereinen. Das berühmteste Beispiel dieser Art war der Versuch des in Russland lebenden Kroaten Juraj Križanić (1618–1683), eine all- oder gemeinslavische ‚Plansprache‘ zu schaffen. Ins gleiche Jahrhundert fällt der Name des berühmten polnischen Mathematikers und Bibliothekars Jan III. Sobieskis, Adam Adamandy Kochański (1631–1700). (Künzli 2015: 4)

Kochański korrespondierte mit Leibniz über europäische und asiatische Sprachen und hinterließ 1680 unter dem Titel *Catalogus inventorum singularium in amœniori Mathesi et curiosis artibus etc.* [Katalog der einzigartigen Erfindungen in der reizenderen Wissenschaft und den kuriosen Künsten, etc.] eine Skizze seiner neuen katholischen und gelehrten Sprache „Nova lingua catholica et erudita“, die sich ebenfalls chinesischer Schriftzeichen und arabischer Ziffern bediente.³⁴ Wie bei Leibniz blieb es aber bei einem Entwurf, und insbesondere Peano bedauert, dass „Leibniz dieses Thema in Länge und Breite studierte, aber nichts publizierte. Seine Studien blieben in der Bibliothek von Hannover begraben, bis zum heutigen Tage.“³⁵ Eine präsentable Lösung des Problems einer philosophischen Sprache hätte Leibniz auch gar nicht bieten können. Dies war vermutlich der pragmatische Grund, warum er zunächst auf eine weniger perfekte, aber dennoch brauchbare Zwischenlösung auswich und vorschlug, ein logisch vereinfachtes Latein zu verwenden, eine Sprache, die wie die Wissenschaft der Menschen nach und nach wachsen würde.³⁶ Man musste allerdings zweihundert Jahre warten, bis ein ernsthafter Versuch unternommen wurde, Leibniz’ Vision aufzugreifen und den „neuen Turm zu Babel“ (Peano 1903–1904: 273) des frühen 20. Jahrhunderts zum Stürzen zu bringen.

2.1. Latino sine flexione

Auch hinsichtlich Peanos Leibniz-Referenzen spielte Couturat eine entscheidende Rolle.³⁷ Leibniz' Manuskripte zu Sprache, Universalsprachen und rationaler Grammatik³⁸ lieferten Peano Stoff für seine logisch-linguistischen Affinitäten und vergleichenden Sprachstudien. Am Ende führten seine Überlegungen zu einer fast völligen Abschaffung der Grammatik des Latein, eine radikale Forderung, die Peano mit Leibniz legitimierte:

Grammatica constitue principale differentia inter linguas. Me supprime omni flexione, et omni regula de grammatica, quando non es necessario, id es quando suppressione non produce obscuritate.

Ce regula duce ad suppressione totale de Grammatica, secundo „Grammatica rationali“ de Leibniz.³⁹

[Grammatik stellt den wesentlichen Unterschied zwischen Sprachen dar. Man kann jegliche Flexion und jegliche grammatikalische Regel abschaffen, wenn sie unnötig ist, d. h. wenn die Abschaffung keine Unklarheit schafft.

Dieses Prinzip führt zu der vollständigen Abschaffung von Grammatik, gemäß Leibniz' „Grammatica rationali“.]

Peano hielt sein flexionsfreies Latein, sein *Latino sine flexione*, für exakt identisch mit den Leibniz'schen Vorgaben.⁴⁰ Seine Ausführungen unterlegte er ähnlich wie im *Formulaire* detailliert mit Zitaten aus Leibniz' Schriften.⁴¹ Im Unterschied zu anderen Versuchen aus der selben Zeit, ein modifiziertes Latein für die Entwicklung einer Universalsprache zu verwenden, war es aber kein rein linguistisches Unterfangen. Es bot Peano gleichzeitig Gelegenheit, über den Status von Metasprachen nachzudenken, so wie z. B. die Theorie der Definitionen⁴² oder auch die ersten Elemente einer auf natürliche Sprachen angewandten logischen Semantik, das von ihm so genannte „grammatikalische Kalkül“. ⁴³ Couturat, der sich wie Peano aktiv ab 1900 mit dem Problem einer internationalen Sprache beschäftigte,⁴⁴ verfolgte zu Peano parallele, jedoch weitaus dogmatischere Wege mit seiner aus dem Esperanto abgeleiteten Plansprache Ido, „ein bereinigter und idealisierter Extrakt, die Quintessenz europäischer Sprachen“ (Couturat 1908: 768), die von der neuen Logik der Relationen regiert wurde. Er bezweifelte, anders als Peano, die politische Korrektheit der Verwendung eines lateinischen Vokabulars, auf dem eine minimale Anzahl grammatikalischer Regeln angewendet werden sollten und betonte, dass auch Leibniz sein vereinfachtes Latein nur als *matière provisoire* verstanden hatte.⁴⁵ Die Korrespondenz von Peano und Couturat zwischen 1896 und 1910 legt nahe, dass die zunehmende Divergenz ihrer Einstellungen zu einer liberalen *versus* dogmatischen Wahl einer internationalen Hilfssprache, zu einem Abbruch des Briefwechsels führte.⁴⁶

Peanos „romantisches“ Sprachprojekt⁴⁷ erwies sich durchaus als praktikabel in den Wissenschaften, was nicht zuletzt an seinem kontinuierlichen Einsatz als Präsident der *Academia pro Interlingua* von 1908 bis zu seinem Tode 1932 lag. Zahlreiche Autoren von Publikationen adoptierten seine Plansprache zur Veröffentlichung wissenschaftlicher und kultureller Schriften: nach 1903 in der von Peano herausgegebenen Zeitschrift *Revue de Mathématiques* (*Rivista di Matematica*), den Heften der *Academia pro Interlingua*, ebenso wie nach 1926 dem pädagogischen Blatt *Schola et Vita* (*Revista mensile in Interlingua* bzw. *Revista bimestrale internationale de cultura*). Peano selbst hatte 1908 die fünfte und letzte Ausgabe seiner enzyklopädischen Sammlung

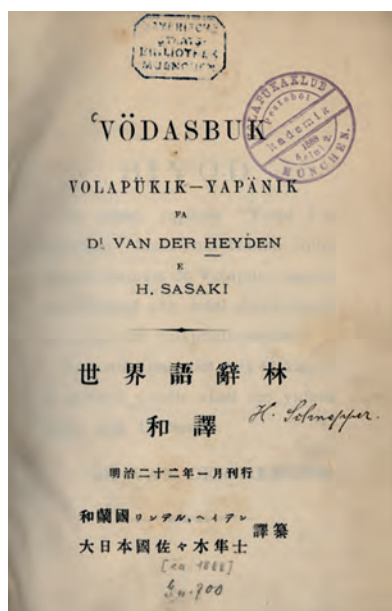


Abbildung 1. Volapük–Japanisches Wörterbuch. Van der Heyden & Hayato Sasaki, *Vödaskuk volapükik-japānik* 世界語辭林和譯 (Yokohama, 1889)

mathematischer Formeln in *Latino sine flexione* verfasst. 1929, als das *Formulario Mathematico* vergriffen war, schickte er seinem Kollegen, Professor Gaetano Scorza (1876–1939), den Vorschlag nach Neapel, eine Neuauflage zu verfassen in derselben, „für die weitere Verbreitung der Arbeiten im Ausland sehr nützlichen“ Sprache, die „Ideen viel deutlicher auszudrücken vermag, ohne von grammatikalischen Flexionen verwirrt zu sein.“ Gerne, so sagt Peano in seinen Siebzigern, „würde er den Rest seines Lebens damit verbringen.“⁴⁸

Gerade Mathematiker⁴⁹ und Logiker⁵⁰ begeisterten sich zu Peanos Lebzeiten für Universal Sprachen. Zu erwähnen sei hier insbesondere Rudolf Mehmke (1857–1944), der zahlreiche Memoiren in Volapük publizierte⁵¹ und mit dem Peano seinerseits in *Latino sine flexione* korrespondierte.⁵² Auch nach China und Japan bestanden Kontakte, die sich, nach den archivalischen Dokumenten zu urteilen, allerdings trotz der großen Beliebtheit von Volapük und Esperanto⁵³ auf den Austausch von Publikationen beschränkten. So erhielt Peano als Präsident der *Academia pro Interlingua* nach Etablierung der Nationalbibliothek Chinas in Nanjing 1933 eine Anfrage, seine Publikationen für diese bereit zu stellen,⁵⁴ während der japanische Chefdelegierte der UEA (Universala Esperanto-Asocio) Peano seine Bewunderung aussprach und ihm für den Erhalt der Sonderausgabe von *Schola et Vita* dankte, die 1928 zum 70. Geburtstag von Peano herausgegeben wurde.⁵⁵ Insgesamt scheint aber *Latino sine flexione* in Asien nicht Fuß gefasst zu haben, was nicht bedeutet, dass Peano nicht den Versuch unternommen hätte, in seine Überlegungen einer wahrlich internationalen Sprache Elemente der chinesischen miteinzubeziehen, insbesondere die Schriftzeichen, die China und Japan gemein haben.

2.2. Die China-Verbindung

Peanos Interessen an der chinesischen Sprache waren völlig losgelöst vom sprachpolitischen Kontext Chinas. Während Peano sie idealisiert, als eine Sprache ohne Grammatik, Ideogramme *sine flexione* sozusagen, war sie im frühen republikanischen China wesentlicher Bestandteil eines Rückständigkeitsdiskurses und wurde von progressiven Reformern als eine Hürde im wissenschaftlichen Fortschritt der Nation angesehen.⁵⁶

Was Peano umtreibt, ist im Rahmen seiner Arbeiten zur Notation mathematischer Logik vor allem der Zusammenhang zwischen natürlichen Sprachen, Logik und Mathematik. In seinen ausführlichen kritischen Erläuterungen zur im *Formulario* verwendeten Schreibweise von Funktionen zieht er auch ein Beispiel der chinesischen Syntax heran. Dort sieht er eine Analogie zwischen einem natürlichsprachigen Binom – hier einer untergeordneten Konstruktion mit zwei nominalen Konstituenten – und der Schreibweise einer Variablen gefolgt von ihrer Funktion:

§ 20. Quelquefois on indique une fonction de x en écrivant un signe après x . Ainsi on écrit $x!$ pour indiquer la factorielle de x . Dans le plus grand nombre des langues on écrit le signe de fonction après la variable, comme γραμμῆς πέρατα, lineæ extrema, Liniengrenze. Ainsi, en chinois, *ji-tseu* signifie „du soleil le fils“ ou „le jour“.⁵⁷

[§ 20. Manchmal stellt man eine Funktion von x dadurch dar, dass man x ein Zeichen nachstellt. So schreibt man zum Beispiel $x!$, um die Fakultät von x darzustellen. In den meisten Sprachen schreibt man das Zeichen der Funktion nach der Variablen, wie im Falle von γραμμῆς πέρατα, lineæ extrema, Liniengrenze. Im Chinesischen zum Beispiel bedeutet *rizi* 日子 ‚von der Sonne der Sohn‘ oder ‚der Tag‘.]

Gerne hätte Peano im Laufe seiner Forschungen mehr mathematische Texte in den Fremdsprachen gesehen, die er studierte. In einem Brief an Charles Méray (1835–1911), Esperantist und Professor für Mathematik an der Universität von Dijon bedauert er diesen Mangel sehr.⁵⁸ Vermutlich galt dies insbesondere für den Fall der chinesischen Sprache, weil er diese konjugations- und deklinationsfreie Sprache als „sehr zivilisiert und sehr wissenschaftlich“ schätzt,⁵⁹ ganz im Gegensatz zu Couturat, der die seit dem 17. Jahrhundert vorwiegende Historiographie rezitiert:

Vous semblez prendre pour idéal la langue chinoise, qui (à ce qu'on dit) est très pauvre dans sa richesse [une langue correspond à une forme d'esprit: or l'esprit chinois est le moins scientifique et le moins progressiste].⁶⁰

[Sie scheinen die chinesische Sprache, die (wie man sagt) in ihrem Reichtum sehr arm ist, als Ideal zu betrachten [eine Sprache entspricht einer Art von Esprit. Der chinesische Esprit jedoch ist der am wenigsten wissenschaftliche und am wenigsten progressive].]

Für Peano aber ist eine Sprache ohne Grammatik, wie die chinesische, der mathematischen Formelsprache identisch und gerade deshalb anderen natürlichen Sprachen überlegen:

Lingua de Sina (China) non habet grammaticam. Formulas de mathematica, quales $2 + 3 = 5$, es propositiones sine grammatica.⁶¹

[Die Sprache Chinas hat keine Grammatik. Mathematische Formeln, wie $2 + 3 = 5$, sind Aussagen ohne Grammatik.]

Wäre Peano hier noch einen logischen Schritt weitergegangen und hätte dies mit seiner Aussage kombiniert, dass mit den algebraischen Formeln eine universale Wissenschaftssprache gefunden worden sei,⁶² so wäre er genau bei Leibniz' Idee angekommen, die chinesischen Ideogramme⁶³

zur Konstruktion einer *characteristica universalis*⁶⁴ zu instrumentalisieren. Diesen Schritt geht Peano aber nicht, auch beruft er sich in diesem Zusammenhang nicht explizit auf Leibniz' Ideen zu China. Stattdessen benutzt er Beispiele der chinesischen Grammatik zum Beleg dafür, dass eine rationale Sprache wie *Latino sine flexione* tatsächlich für die Kommunikation eingesetzt werden kann. Peano zeigt anhand der wörtlichen Übersetzung einer Fabel aus Stanislas Juliens *Syntaxe nouvelle de la langue chinoise* (1869–1970),⁶⁵ wie eine unbeugbare, monosyllabische Sprache bis auf wenige Ausnahmen mit den einfachsten grammatikalischen Formen auskommen kann, d. h. dem Nominativ (oder Ablativ) Singular für Nomen, und dem Imperativ für Verben. Dazu übersetzt Peano in sein ungebeugtes Latein jedes Zeichen der indischen Fabel *Les deux Oies et la Tortue*, die schon Julien, der sie aus dem Sanskrit ins Chinesische übertrug, als Übersetzungsübung für klassische chinesische Schriftsprache diente. Nachdem die lateinischen Wörter in die richtige Reihenfolge gebracht werden, zieht Peano folgende euphorische Schlussfolgerung:

Questo testo è ora intelligibile a chiunque conosca anche superficialmente il latino; chi possiede la grammatica latina, può mettere fra le parole latine le flessioni mancanti, senza alcuna ambiguità. *Esso è una specie di latino senza flessioni.*⁶⁶

[Dieser Text ist nun jedem verständlich, der auch nur oberflächlich die lateinische Sprache kennt. Wer der Grammatik des Latein mächtig ist, kann zwischen die lateinischen Wörter die fehlenden Flexionen einfügen, und dies ohne jede Doppeldeutigkeit. *Dies [das Chinesische] ist eine Art von Latein ohne Flexionen.*]

Peanos Vorgehen, die Korrespondenz zwischen chinesischen Zeichen und den entsprechenden lateinischen Wortstämmen aufzuzeigen, verdeutlicht der erste Satz. Im Original heißt es: „*Shui bian you er yan yu yi gui gong jie qin you* 水邊有二鴈與一龜共結親友“, was bereits Julien zunächst Wort für Wort (jeweils durch ein Komma getrennt) übersetzt und dann (in Klammern) sinngemäß zusammenfügt zu „eau, bord (au bord de l'eau), il y avait, deux, oies, avec, une, tortue, ensemble (toutes deux), elles lièrent, amitié.“ [Wasser, Rand (am Ufer), waren, zwei, Gänse, mit, eine, Schildkröte, zusammen (beide), sie knüpften, Freundschaft] Bei Peano wird dies zunächst umgewandelt in „reines Chinesisch mit Satzzeichen versehen, und ohne Schriftzeichen“ (Peano 1903–1904: 282):

Aqua ripa⁶⁷ es duo anser cum uno testudo simul liga parente amico.

[Wasser Rand sein zwei Gans mit eine Schildkröte zusammen knüpfen Verbindung Freund]

Durch Hinzufügen von Partikeln, deren Bedeutung im Chinesischen durch gewisse Regeln nur impliziert sind, und Umstellung in die richtige Reihenfolge erhält Peano schließlich, *quod erat demonstrandum*, was er beweisen wollte: einen für jeden des Latein Mächtigen verständlichen Satz:

Duo anser, qui es in ripa de aqua, liga se simul cum testudo ut amico (ossia *liga amicitia*).

[Zwei Gänse, die am Flussufer waren, knüpften Freundschaft mit einer Schildkröte.]

Peanos Interesse an chinesischen Symbolen machte aber nicht bei der Schrift halt. Sie hatte ihren Ursprung in Vaccas und Peanos eigenen Arbeiten zur Binärarithmetik. Dies bringt uns wieder explizit zu Leibniz zurück, der sich in vielfacher, nicht nur mathematischer Hinsicht mit der Darstellung der natürlichen Zahlen durch die Ziffern 0 und 1 beschäftigte. Er sah darin nicht nur ein metaphysisches Symbol der Schöpfung *ex nihilo*, sondern glaubte auch, eine derartige

Zahldarstellung verschlüsselt in den antiken chinesischen Wahrsagediagrammen des *Buches der Wandlungen* (*Yijing* 易經) zu finden:⁶⁸

Ce qu'il y a de surprenant dans ce calcul, c'est que cette Arithmétique par 0 & 1 se trouve contenir le mystère des lignes d'un ancien Roi & Philosophe nommé *Fohy*, qu'on croit avoir vécu il y a plus de quatre mille ans, & que les Chinois regardent comme le Fondateur de leur Empire & de leurs sciences. [...] Les Chinois ont perdu la signification des *Cova* ou Linéations de Fohy, peut-être depuis plus d'un millenaire d'année; & ils ont fait des Commentaires là-dessus, où ils ont cherché je ne sçay quels sens éloignés. De sorte qu'il a fallu que la vraie explication leur vînt maintenant des Européens.⁶⁹

[Das Erstaunlichste an diesem Kalkül ist, dass sich diese Arithmetik mit nur 0 & 1 gerade im Rätsel der Linien eines alten Königs und Philosophen namens *Fuxi* wiederfindet, der, wie man annimmt, vor mehr als vier Tausend Jahren gelebt hat und den die Chinesen als den Begründer des Kaiserreiches und ihrer Wissenschaften betrachten. [...] Die Chinesen haben die Bedeutung der *gua* – oder Linien des Fuxi – vielleicht seit mehr als zwei Tausend Jahren verloren und sie haben darüber Kommentare verfasst, in denen sie, was weiß ich, welchen weit entfernten Sinn gesucht haben. So, dass sie die wahre Erklärung nun von den Europäern bekommen mussten.]

Peano zitiert bereits 1898 Leibniz, sowohl dessen arithmetische Überlegungen als auch seine Interpretation der chinesischen Diagramme.⁷⁰ Er präsentiert die Grundideen einer Maschine, die eine von ihm entworfene Form von stenografischer Schrift reproduzieren soll, und auf der Basis einer binären Zahldarstellung Silben codiert.⁷¹ Hier wird Peanos Interesse an der Schnittstelle von Mathematik, Logik und Sprache⁷² besonders deutlich. Sie bildet die Basis für sein lebenslanges Bestreben, eine an Leibniz orientierte *characteristica universalis* zu finden. Er zitiert hier das Ende der von Leibniz 1703 veröffentlichten *Mémoire* der Pariser *Académie Royale des Sciences*, „Explication de l'Arithmétique Binaire, Qui se sert des seuls caractères 0 & 1; avec des Remarques sur son utilité, & sur ce qu'elle donne le sens des anciennes figures Chinoises de Fohy“ [Erklärung der Binärarithmetik, die sich nur der zwei Zeichen 0 & 1 bedient, mit Bemerkungen zu deren Nützlichkeit und zu der Bedeutung, die sie den alten chinesischen Diagrammen von Fuxi verleiht]:

Je ne sçai s'il y a jamais eu dans l'Ecriture Chinoise un avantage approchant de celui qui doit être nécessairement dans une Caractéristique que je projette. C'est que tout raisonnement qu'on peut tirer des notions, pourroit être tiré de leurs Caractères par une maniere de calcul, qui seroit un des plus importants moyens d'aider l'esprit humain. (Leibniz (1720: 89), zitiert in Peano (1898–99: 48–49))

[Ich weiß nicht, ob die chinesische Schrift jemals einen Vorteil besaß, der dem nahekam den eine Charakteristik, wie ich sie projektiere, unbedingt besitzen muss. Est ist so, dass jede Beweisführung, die man aus den Konzepten ableiten kann, durch eine Art Kalkül aus ihren Charakteren abgeleitet werden könnte. Dieses Kalkül wäre eines der wichtigsten Mittel, dem menschlichen Geiste zu helfen.]

Für Peano besteht kein Zweifel, dass die Leibniz'sche Charakteristik gerade die zu seiner Zeit florierende mathematische Logik sei und Fuxis Diagramme eine binäre Klassifizierung der Ideen darstellen, deren Kriterien uns allerdings relativ unbekannt sind. Vacca greift genau diesen Gedanken auf, um auf dem Internationalen Kongress der Geschichtswissenschaften in Rom 1904 eine Geschichte der Binärzahlen zu präsentieren.⁷³ Den Schlüssel findet er allerdings nicht. Auch Peano geht 1924 in einem Traktat zu möglichem Vokabular einer Plansprache, das auf der

Klassifizierung der Ideen beruht, nicht über eine begriffliche Codierung in acht Ziffern von 0 bis 7 hinaus:

0 = - - - = <i>cælo</i> [Himmel].	1 = - - + = <i>mari</i> [Meer].	2 = - + - = <i>igne</i> [Feuer].
3 = - + + = <i>fulmine</i> [Blitz].	4 = + - - = <i>vento</i> [Wind].	5 = + - + = <i>fluvio</i> [Fluss].
6 = + + - = <i>monte</i> [Berg].	7 = + + + = <i>terra</i> [Erde]. ⁷⁴	

Während Peanos Auseinandersetzung mit chinesischer Geistesgeschichte also nicht mehr als eine Randbemerkung bleibt, schlug Vacca eine ganz neue zusätzliche akademische Richtung ein. 1905 publiziert er seine erste Arbeit zur chinesischen Mathematik. Sie zeigt, dass er der chinesischen Sprache bereits in einem gewissen Maße mächtig war, denn er diskutiert darin philologisch und wissenschaftshistorisch drei Übersetzungen des Han-zeitlichen Klassikers *Das Gnomon der Zhou* (*Zhoubi suanjing* 周髀算經) (Vacca 1905). Im selben Jahr kündigt er seine Assistenzstelle bei Peano an der Universität Turin⁷⁵ und begibt sich nach anfänglichen Schwierigkeiten 1907 in das spätkaiserliche China. Peano hofft, dass Vacca dort neue Anhänger für die *Academia pro Interlingua* gewinnt, um somit gemeinsam eine Lösung für Leibniz' Problem der Universalsprache zu finden, „was theoretisch nicht schwierig ist, in der Praxis aber eine Vielzahl gravierender praktischer Schwierigkeiten aufzeigt“.⁷⁶ Nach seiner Rückkehr 1909 lehrt Vacca Sprache und Literatur Chinas zunächst in Florenz und ab 1911 in Rom. Seine wissenschaftlichen Interessen an China und an der Mathematik bleiben aber weitgehend getrennt.

3 *Doch keine Utopie?*

Auf der öffentlichen Sitzung der Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 7. Juli 1831 äußert sich Friedrich Daniel Ernst Schleiermacher (1768–1834) über Leibniz' unausgeführt gebliebenen Gedanken zu einer allgemeinen philosophischen Sprache, zu dessen Ziel und dem Grad der Verfehlung. Diesen „irrenden Pfeil“ konnte Leibniz nur, so Schleiermacher, „im Rausch mathematischer Begeisterung“ abschießen,

die Grenzscheidung zwischen beiden Gebieten [i. e. Mathematik und Sprache] übersehen, und nur die natürliche Freude an den ungeheuren Erfindungen auf dem einen Gebiet habe ihm die Möglichkeit aufs neue vorgespielt Begriffe in Zahlen aufzulösen und durch mathematische Künste auch den philosophischen Stein der Weisen zu entdecken. (Schleiermacher 2002: 711)

Es mag ikonoklastisch erscheinen, sich eine Welt vorzustellen, in der alle mithilfe von Zahlen, chinesischen Schriftzeichen oder schräg klingenden Kunstwörtern kommunizieren. Aber ist dieses Bild wirklich so weit hergeholt? Wenn für Leibniz Sprache die Algebra der Gedanken war, so war für Peano Universalsprache die Algebra der Mathematik, mit ihren Symbolen, die heute allen minimal gebildeten Weltbewohnern verständlich sind und die nach Peano Leibniz' Traum zumindest auf dem Gebiet der Logik verwirklicht haben. Peanos Desideratum blieb, seine Ideographie mit Fragen der Interlingua in Verbindung zu bringen. Noch 1903 schreibt er:

Fragen der Universalsprache haben nichts gemeinsam mit denen der Ideographie, die wir im „Formulario mathematico“ verwendet haben. Ideographie ist Synthese [...], künstliche Sprache ist

Analyse. [...] Wenn in Zukunft Analyse und Synthese zusammenkommen sollten wie zwei Gruppen von Minenarbeitern die in einem Tunnel an gegenüberliegenden Enden arbeiten, dann werden auch Leibniz' „Rationale Sprache“ und „Universale Charakteristik“ dies ebenso tun.⁷⁷

Auch wenn die Realität der Computerlinguistik uns heute deutlich vor Augen führt, dass natürliche Sprachen nicht durch eine Nomenklatur ersetzbar sind, und die Vielfalt der (natürlichen) Sprachen mit ihrer Fähigkeit, metaphorisch, poetisch und sozial zu operieren wünschenswert bleibt, so zeigt sich doch immer wieder, dass die Suche nach der idealen Universalsprache stets neu belebt wird. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden solche Sprachprojekte zum einen durch die von Boole und Schröder weiterentwickelte Logik und zum anderen durch die ansteigende wirtschaftliche Globalisierung der Welt gefördert. Aber auch die pazifistischen Bewegungen, die die mit der Globalisierung einhergehenden politischen Spannungen aufzulösen suchten, unterstützten Projekte für eine Universalsprache. Esperanto reflektierte die Hoffnung auf Weltfrieden, und schon zuvor hatte Volapük einen beachtlich raschen globalen Erfolg zu verzeichnen.⁷⁸ Insbesondere hatte es einen gewissen Stellenwert bei Akteuren des internationalen Handels in China,⁷⁹ die das ursprüngliche Fehlen des Konsonanten ‚r‘ in seinem Alphabet willkommen hießen. Ein Teehändler aus Amoy (heute Xiamen), Yang Yannong 楊研農, hatte sogar die Idee, eine internationale Volapük-Währung einzuführen, um den globalen Austausch von Handelsgütern zu erleichtern und die Verbreitung von Volapük (chin. 沃拉普克語) zu propagieren.⁸⁰

Die Gründe des ebenso raschen Verfalls wie Erfolgs von Volapük wurden auf interne Machtkämpfe und den Dogmatismus des Erfinders Schleyer zurückgeführt; Esperantokongresse und auch Projekte des siebzehnten Jahrhunderts waren nicht frei von kulturellen oder nationalen Hegemonialbestrebungen.⁸¹ Peano nahm sich an diesen historischen Präzedenzen ein Beispiel. Er leitete die *Academia pro Interlingua* als demokratische Institution, in der Raum zur Diskussion bestand und alle Sprachprojekte ihren Platz hatten, solange sie im Rahmen gewisser Grundregeln blieben. Aber auch *Latino sine flexione* endete nach seinem Tod auf dem „großen Friedhof“⁸² der unzähligen ausgestorbenen Universalsprachprojekte, seine Ideographie wurde überschattet von Freges *Begriffsschrift*.⁸³ Das Beispiel Japans zeigt jedoch, dass eine Universalsprache durchaus aus einer sozialen Bottom-up-Bewegung ohne institutionellen Rahmen und ohne Leitfigur Wirkmächtigkeit erlangen kann.⁸⁴ Ebenso tragen moderne Massenkommunikationsmöglichkeiten erheblich dazu bei, Adepten alter und neuer Kunstsprachen spontan weltweit zu vernetzen. Die Geschichte von Ithukil ist nur eines von vielen Beispielen,⁸⁵ auch andere logisch konstruierte Sprachen wie Lojban, oder Science Fiction-Sprachen wie Klingon erfreuen sich einer immensen Beliebtheit in der aktuellen Internet-Community.

Zweihundert Jahre nach Leibniz' Tod glaubten viele noch, dass es zur Durchsetzung einer Universalsprache unbedingt eine akademische Autorität brauche, die die Utopie zur Wirklichkeit werden ließe. Der von der *Académie impériale des Sciences de Vienne* beauftragte Gutachter und Romanist Hugo Schuchardt (1842–1927) meinte 1903 zum Projekt einer internationalen Hilfssprache:

Le vrai problème, le problème final est celui-ci : assurer à une telle langue, ne fût-elle pas la meilleure, un monopole exclusif [...] Ce n'est que par une autorité centrale que le mouvement relatif à une langue commune peut être mené à bonne fin [...] Aucun organe ne paraît à la *Délégation* plus propre à exercer cet office de juge que l'*Association internationale des Académies*,

et avec toute raison [...] J'espère ne pas dépasser mon mandat de rapporteur en ajoutant qu'il est de l'intérêt des Académies elles-mêmes de saisir le moment favorable pour diriger et mener au but un mouvement qui, selon toute apparence, ne se laissera pas refouler [...] L'*Association des Académies* ne sortirait pas du cercle des problèmes qu'elle s'est assignés, en s'occupant de la pensée d'universalité qui hantait si profondément, il y a deux siècles, l'âme de celui qu'on peut bien appeler par excellence l'Académicien (Leibniz). (Zitiert in Couturat (1904: 140–141))

[Das wahre Problem, das schlussendliche Problem ist dieses: einer solchen Sprache, wenn sie nicht die beste sei, ein exklusives Monopol zu gewähren [...] Nur durch eine zentrale Autorität kann eine Universalsprachbewegung erfolgreich zum Ziel kommen [...] Keine Institution scheint der *Délégation* geeigneter als urteilendes Amt zu fungieren als die *Association internationale des Académies*, und das aus gutem Grunde [...] Ich hoffe, dass ich nicht über mein Mandat als Gutachter hinausgehe, wenn ich hinzufüge, dass es im Interesse der Akademien selbst steht, den günstigen Zeitpunkt zu nutzen, eine Bewegung zu leiten und zum Ziel zu bringen, die sich ganz offensichtlich nicht aufhalten lässt [...] Die *Association des Académies* würde nicht den Aufgabenbereich verlassen den sie sich auferlegt hat, wenn sie sich um das universalistische Denken kümmert, das vor zweihundert Jahren zutiefst die Seele dessen plagte, den man als den Akademiker par excellence bezeichnen kann – Leibniz.]

Anmerkungen

1. Siehe zum Beispiel Peckhaus (1997) zum Revival der Logik im 19. Jahrhundert. Eine Darstellung logischen Denkens von Leibniz zu Peano findet sich in Styazhkin (1969), bis Frege geht Mugnai (1982). Hély (1905) benutzt Leibniz' Namen *a posteriori*, um seiner Skizze einer Universalsprache mehr Autorität zu verleihen.
2. Dieser Aspekt wurde in der bestehenden Literatur zur Leibniz-Rezeption durch Peano weitgehend vernachlässigt. Siehe Roero (1999), Stockhammer (2010), Luciano (2012).
3. Zu den verschiedenen Editionen des *Formulaire* siehe Cassina (1955).
4. Siehe *idem* S. 2. Peano hat seine Theorie, Theoreme, Definitionen und Beweise erstmals 1889 in seinem Buch „*Arithmetices principia, nova methodo exposita*“ durch Symbole ausgedrückt.
5. Zur Rolle der Kombinatorik bei Leibniz' Ideen zu Universalsprachen siehe Rossi (1960: Cap. VIII: Le fonti della caratteristica leibniziana).
6. *God. Guil. Leibnitii opera philosophica quae exstant Latina Gallica Germanica omnia. Edita recognovit e temporum rationibus disposita pluribus ineditis auxit introductione critica atque indicibus instruxit Joannes Eduardus Erdmann.* Pars prior cum Leibnitii effigie. Berlin: Eichler, 1840.
7. Nur die implizite Referenz (Peano 1896: 3) auf das Fragment *Guilielmi Pacidii plus ultra sive initia et specimina scientiae generalis de instauratione et augmentis scientiarum* durch die Angabe „(Leibniz, p. 98)“ bezieht sich allerdings auf ein Zitat S. 89.
8. Peano (1896: 4). Siehe auch Peanos Aufruf an die Mithilfe seiner Leser in Peano (1892: 76).
9. Zu Peanos Pasigraphie im Kontext zeitgenössischer Systeme siehe Peckhaus (1990/91).
10. Siehe Peano (1892: 76).
11. Zu Peanos Werk als historisches Unterfangen siehe Roero (2011).
12. Peano (1901a: VIII): „[...] on trouvera ici la place d'une proposition, déjà écrite en symboles, à peu près comme on trouve la place d'un mot dans un dictionnaire.“
13. Siehe Peano (1901a: 219–230). In der vierten Edition des *Formulaire mathématique* von 1903 übernimmt Peanos Assistent Giovanni Vacca die Redaktion dieses Anhangs und ordnet die in Peano (1901a) alphabetische Liste der Mathematiker in chronologischer Reihenfolge. Siehe Vacca (1903).
14. Ich verwende den Begriff Plansprache hier lediglich, um natürliche Sprachen von künstlichen zu differenzieren; die Begrifflichkeit der vielen Universalsprachprojekte ist in der Literatur i. A. sehr uneinheitlich. Vgl. z. B. Eco (1993: 8–10), Marrone (2002b) oder auch Saussure (1922).
15. Siehe zum Beispiel Peano (1901a: 50) zu positiven und negativen Zahlen: „BRAHMAGUPTA. Version de Rodet, *Journal Asiatique*, a.1878 p. 24 [...]“, S. 58 zu rationalen Zahlen und S. 61 zu Potenzzahlen: „TSHU SCHI KIH a.1303“. Informationen zu Letzterem bezog Peano aus den ins Deutsche übersetzten *Jottings on the Science of the Chinese* zur Arithmetik von Alexander Wylie (*North China Herald*, 1852), Biernatzki (1856).

16. Siehe Leibniz' „Initia et Specimina Scientiae Generalis de Instauratione et Augmentis Scientiarum“ [Sommer bis Herbst 1679 (?)] in Leibniz (1999: 360).
17. Nicht nur Leibniz' Arbeiten, sondern historische Quellen allgemein, schienen für Peano eine Inspirationsquelle für seine Vorlesungen darzustellen. Vacca (1933: 98–99) erwähnt Lagranges *Théorie des Fonctions Analytiques*, Cauchys *Cours d'Analyse* von 1821, er erinnert sich an die Geometrie der Indivisiblen von Bonaventura Cavalieri, u. a.
18. Siehe Vacca (1899) und Vacca (1902). Zu Vaccas Leben, siehe Cassina (1953).
19. Siehe Couturat (1903: Préface S. I), worin Couturat sich an die erste Begegnung mit Vacca in Paris anlässlich des *Congrès international de Philosophie* (August 1900) erinnert.
20. Siehe Grattan-Guinness (2011) und andererseits Cassina (1933: 482).
21. Siehe Peano (1901a: 19).
22. Siehe Vacca (1904).
23. Insbesondere Peano in der fünften Auflage seines *Formulaire*. Siehe Peano (1908).
24. In Peano (1903–1904: 278) zitiert Peano folgende Passagen aus Couturat (1903): *In Grammatica rationali necessari non sunt obliqui, nec aliae flexiones*, (S. 287) und *Videtur pluralis inutilis in lingua rationali*, (S. 281), während er sich in Peano (1901b) auf weitere Zitate aus Couturat (1961) beruft.
25. Auch: Vsevolod/Wssewolod Tsheshichin/Tscheschichin, und andere Umschriften.
26. Zur späteren politischen Verfolgung der Esperantisten siehe Lins (1988) und Lins (1990).
27. Tscheschichin, W. E. an Peano, G., 8. März 1916. (Roero, Nervo und Armano 2008: no. 101858). In einem weiteren Brief vom 26. Mai 1916 schlägt Tscheschichin vor, die Sektion um Peanos Latino sine flexione (damals auch Interlingua genannt, nicht zu verwechseln mit dem 1951 veröffentlichten gleichnamigen Projekt der *International Auxiliary Language Association*) und Couturats Ido zu erweitern. Siehe *idem*, no. 101857.
28. Im Sinne einer „fantastischen Linguistik“ nach Auroux u. a. (1985).
29. Undatierte handschriftliche Annonce, Reproduktion in Roero, Nervo und Armano (2008: no. 100275).
30. Siehe Künzli (2015: 11).
31. Diese hatte Češichin 1911 bereits in der *Academia pro Interlingua* vorgeschlagen. Siehe Tscheschichin (1911).
32. Siehe Tscheschichin (1911: 103–104).
33. Anlage zu einem Brief an Peano vom 8. Dezember 1923, Reproduktion in Roero, Nervo und Armano 2008: no. 109430.
34. Siehe Dickstein (1924). Zu anderen Universalsprachprojekten im 17. Jahrhundert, mit denen Leibniz vertraut war, wie z. B. John Wilkins (1614–1672) *Real Character* (Wilkins 1668) oder Athanasius Kirchers Polygraphie, siehe u. A. Knowlson (1975), Nate (1993), Marrone (2002a), Slaughter (1982), Maat (2004).
35. Übersetzt nach Peano (1903: 80).
36. „Et à mesure que la science des hommes croitra, cette langue croitra aussi.“ Zitiert in Stockhammer (2010: 40).
37. Außer den bereits erwähnten Editionen der Manuskripte Leibniz publizierte Couturat zusammen mit L. Leau seine *Histoire de la langue universelle* und war aktives Mitglied der *Délégation pour l'adoption d'une langue auxiliaire internationale*. Siehe Couturat und Leau (1903) und Couturat (1904).
38. Eine Zusammenfassung seiner Grundpositionen findet sich in Brekle (1971), eine detaillierte Analyse liefert Pombo (1987).
39. Peano (1906: IX). In der Tat liest man dies in den von Couturat edierten Notizen Leibniz. Siehe Couturat (1903: 287).
40. Dies liest man indirekt in einem Brief von L. Couturat an Peano vom 13. September 1904 in Luciano und Roero (2005: 51).
41. Siehe Peano (1903).
42. Siehe z. B. Peano (1921).
43. Die gesammelten Schriften hierzu finden sich in Peano (1958), insbesondere in Teil IV. – Interlingua ed algebra della grammatica, S. 439–515.
44. Siehe z. B. Couturat (1904).
45. Couturat an Peano, 13. September 1903. Siehe Luciano und Roero (2005: 52).
46. Siehe Luciano und Roero (2005) und Minnaja (2007).
47. So Borges und Weinberger (1999: 229), der Peanos vereinfachtes Latein sowohl als „romantisch“ als auch als „ausdruckslos“ bezeichnet.
48. Peano an G. Scorza, 24. Februar 1929. Siehe Roero, Nervo und Armano (2008: no. 101311).
49. Vor allem Mathematiker der Renaissance der italienischen Mathematik um 1900, wie Giusto Bellavitis (1803–1880) in Padua (Bellavitis 1862), Federico Enriques (1871–1946) (Enriques 1921), Tullio Levi-Civita (1873–1941) et al.. Siehe

- Roero (1999).
50. Siehe z. B. den Beitrag „De interlingua in Mathematica“ in *Academia pro Interlingua. Discussiones* (1912) von Philip E. B. Jourdain (1879–1919), einem britischen Logiker und Nachfolger von Bertrand Russell.
 51. Ordentlicher Professor der Mathematik an der TU Darmstadt (1884–1894), danach Universität Stuttgart, siehe Reich (1993).
 52. Vgl. den Brief R. Mehmkes an G. Peano vom 14. Mai 1907, Universitätsarchiv Stuttgart SN 6/113: „Die in Ihrer neuen Sprache abgefaßte Karte habe ich natürlich ohne Mühe verstanden, aber es wäre mir ohne großen Zeitverlust nicht möglich, in derselben Sprache zu antworten, weshalb ich um die Erlaubnis bitte, deutsch antworten zu dürfen“.
 53. Zu Esperanto siehe Müller-Saini (1998), Müller-Saini und Benton (2006), Sho (2013). Volapük hatte vorwiegend in Xiamen Fuß gefasst, wo sich Mitarbeiter des chinesischen Seezollamtes für dessen Verbreitung stark machten, siehe Aalst (1888).
 54. Chiang Fu-tsung, Bibliothekar der Nationalbibliothek (*Guoli zhongyang tushuguan* 國立中央圖書館) in Nanjing, an Peano, 13. Dezember 1933. Siehe Roero, Nervo und Armano (2008: no. 102677).
 55. Yoshi H. Ishiguro an G. Peano, 15. Oktober 1928, Roero, Nervo und Armano (2008: no. 100125).
 56. Siehe zum Beispiel die Diskussion zur Abschaffung der chinesischen Schrift in Qian (1918), die auch eine Übersetzung von Petro Silvio Rivettas „Reformo de la Hina skribado“ (Reform der chinesischen Schrift), *La Revuo* 7 (1912) S. 121 beinhaltet, und Zhan (1992) zu den Debatten um die eigene Nationalsprache in China um 1900.
 57. Peano (1894: 24). In der heute gängigen Pinyin-Umschrift entspricht dies *rìzǐ* 日子, was wörtlich übersetzt ‚Sonne Sohn‘ bedeutet. Ein vergleichbares Beispiel wäre *tiánfù* 田父, wörtlich ‚Feld Vater‘ für den Begriff ‚Bauer‘.
 58. Originalbrief in Roero, Nervo und Armano (2008: Datei 01352_01.pdf), Transkription in Luciano und Roero (2005: 199).
 59. *Idem*, S. 201–202.
 60. Couturat an Peano, 13. September 1903, in Luciano und Roero (2005: 52).
 61. Peano (1924b), Reprint der 3. Auflage von 1927 in Peano (1958: hier S. 493).
 62. Wie im Brief von Peano an Charles Méray vom 25. Juli 1900. Originalbrief in Roero, Nervo und Armano (2008: no. 101352), Transkription in Luciano und Roero (2005: 203–204).
 63. In der Tat sind chinesische Schriftzeichen keine reinen Ideogramme, wie Leibniz, der Jesuit Athanasius Kircher und viele Proto-Sinologen glaubten, sondern tragen auch phonetische Elemente in sich.
 64. Siehe hierzu Widmaier (1981) und Mungello (1985: 191–197).
 65. Aus diesem Werk bezieht Peano auch seine Informationen zur chinesischen Sprache. In Julien (1869–1870: Bd. 1, S. 1) liest man: „Les caractères chinois sont tous monosyllabiques, indéclinables et inconjugables. Ils ne sont donc point susceptibles de recevoir ces flexions qui, dans les langues grecque et latine, font voir, au premier coup d’œil, les genres, les cas, et les nombres de noms, les voix, les temps, les modes et les personnes des verbes.“ [Chinesische Zeichen sind alle einsilbig, nicht beugbar und nicht konjugierbar. Sie können deshalb keinerlei Flexionen unterliegen, die in der griechischen und lateinischen Sprache auf den ersten Blick das Geschlecht, den Fall und die Anzahl der Nomen, die Verhaltensrichtungen, die Zeiten, die Modi und die Personen der Verben erkennen lassen.] Vgl. dazu Peano (1926: 73): „Sina [...] habe lingua monosyllabico, sine declinatione, et sine conjugatione; id est sine grammatica. [...] Suo scriptura est ideographia;“ [China hat eine einsilbige Sprache, ohne Deklinationen und ohne Konjugationen. Sie ist also ohne Grammatik. [...] Ihre Schrift ist eine Ideographie.].
 66. Peano (1903–1904: 283), Reprint in Peano (1958: hier 457), Hervorhebung meine. Dasselbe Beispiel zitiert Peano in seiner separaten Studie zur chinesischen Sprache (Peano 1926).
 67. Wie bereits in dem in Zusammenhang mit Funktionen oben erwähnten Binom ‚Sonne Sohn‘, findet Peano hier wieder eine Folge von zwei Nomen, *shui bian* 水邊 oder *aqua ripa*, was, wie er bemerkt, denselben Stellenwert hat wie *Flussufer* im Deutschen.
 68. Siehe Bréard (2008). Es handelt sich dabei um Diagramme bestehend aus drei oder sechs Linien, wobei jede Linie entweder durchgehend oder unterbrochen sein kann, es ergeben sich also 8 oder 64 Kombinationsmöglichkeiten.
 69. Leibniz (1720: 88). Seine Informationen erhielt Leibniz von dem Jesuitenmissionar Joachim Bouvet, der am Kaiserhofe in Peking als Astronom tätig war. Siehe die einschlägigen Briefe hierzu in Leibniz (1734: 70–89).
 70. Peano (1898–99: 47, 48–49). Peano verweist hier auf die Dutens-Edition der *Opera Omnia* von 1768 und Carus (1896). In späteren Arbeiten, z. B. Peano (1924a: 10), bezieht er sich auch auf Vacca (1904). Auch Couturat beschreibt Leibniz’ Ideen hierzu, vgl. Couturat (1961: S. 473 ff. Appendice III: Sur quelques inventions mathématiques de Leibniz qui se rapportent à la combinatoire et à la caractéristique).
 71. Siehe Luciano und Roero (2004: 65–68) und Kennedy (2006: 115–116).

72. Zu dieser Verbindung bei Peano, siehe Savatovsky (1992), bei Leibniz siehe Parmentier (2014) und Malatesta (1992), bei Frege siehe Jean van Heijenoort, 'Logic as Calculus and Logic as Language' in Hintikka (1997: 233–239).
73. Siehe Vacca (1904: 63).
74. Peano (1924a: 10). Peano erwähnt hier auch Ampère, der in seiner *Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines* (1838) Begriffskategorien durch sukzessive dichotome Teilung erzielt, bis er $2^7 = 128$ Klassen erhält.
75. Siehe Brief von Peano an Vacca, 11. April 1905 in Peano und Vacca (1992: no. 71).
76. Siehe sein Brief vom 12. August 1909 in Peano und Vacca (1992: no. 71).
77. Übersetzt nach Peano (1901b: 82). Frege dagegen glaubt, ans Ziel gekommen zu sein. Er glaubt, seine Begriffsschrift sei beides, *calculus ratiocinator* und *lingua characterica*. Siehe seinen Vortrag, gehalten in der außerordentlichen Sitzung vom 6. Juli 1896 der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig (Frege 1896: 371).
78. Zur Geschichte von Volapük, siehe Peano (1929). Dass Peano bereits vor 1900 mit Volapük vertraut gewesen sei, ist nicht dokumentiert. Siehe Kennedy (2006: 152): "there was a Volapük Club in Turin as early as 1888 and he may have been familiar with it for some time."
79. Siehe Anonym (1888).
80. Zheng (o.D.), siehe auch *The Boston Globe*, "The Volapük Currency. China Leading in the Attempt to Establish a World's Money" (19. Juli 1895) S. 8.
81. Siehe Peano (1929) und Mitchell (2001).
82. So Savatovsky (1989: 38).
83. Zur Kritik von Peano an Frege, siehe Peano (1895) und *vice versa* Frege (1896). Deren Briefwechsel bzgl. ihrer beider Theorien findet sich in Peano (1958: 288–296).
84. Sho (2013) zeigt, wie Esperanto sich in Japan gerade in Räumen fernab von staatlicher Kontrolle popularisierte.
85. Siehe Foer (2012).

Abbildungsnachweis

Bayerische Staatsbibliothek München, L.rel. 2391 we, Titelbild, <https://opacplus.bsb-muenchen.de/search?oclcno=163089586&db=100>

Literatur

- Aalst A., Jules van (1888). *The Universal Language or Volapük Containing the Principles of Grammar and Syntax and a Vocabulary of 3,000 Words*. Amoy: Man-Shing.
- Anonym (1888). "Volapük". In: *The Chinese Recorder and Missionary Journal* XIX.6, S. 285–287.
- Auroux, Sylvain u. a. (1985). *La linguistique fantastique*. Paris: Clims.
- Bellavitis, Giusto (1862). "Pensieri sopra una lingua universale e su alcuni argomenti analoghi". In: *Memorie dell'Istituto Veneto* XI, S. 33–74.
- Biernatzki, K.L. (1856). "Die Arithmetik der Chinesen". In: *Journal für die reine und angewandte Mathematik (Crelles Journal)*, S. 59–94.
- Borges, Jorge Luis und Eliot (Hg.) Weinberger (1999). *Selected Non-Fictions*. Viking Penguin.
- Bréard, Andrea (2008). "Leibniz und Tschina – ein Beitrag zur Geschichte der Kombinatorik?" In: *Kosmos und Zahl. Beiträge zur Mathematik- und Astronomiegeschichte, zu Alexander von Humboldt und Leibniz*. Hrsg. von Hartmut Hecht u. a. Bd. 58. Boethius. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, S. 59–70.
- Brekke, Herbert Ernst (1971). "Die Idee einer generativen Grammatik in Leibnizens Fragmenten zur Logik". In: *Studia Leibnitiana* 3.2, S. 141–149.
- Carus, Paul (1896). "Chinese Philosophy". In: *The Monist* 6.2. Zusammenfassung in Carus (1909: 77–79), S. 188–249.
- (1909). *Philosophy as a science: a synopsis of writings of Dr. Paul Carus, containing an introduction written by himself, summaries of his books, and a list of articles to date*. Chicago: The Open Court Publishing Company.
- Cassina, Ugo (1933). "L'Oeuvre philosophique de G. Peano". In: *Revue de Métaphysique et de Morale* 40.4, S. 481–491.
- (1953). "Giovanni Vacca". In: *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 22, S. 300–305.
- (1955). "Storia ed analisi del „Formulario completo“ di G. Peano". In: *Bollettino dell'Unione Matematica Italiana Serie 3* 2.10, S. 244–265.

- Couturat, Louis, Hrsg. (1903). *Opusculs et fragments inédits de Leibniz. Extraits des manuscrits de la Bibliothèque Royale de Hanovre*. Paris: Alcan.
- (1904). “Délégation pour l’adoption d’une langue auxiliaire internationale”. In: *L’Enseignement Mathématique* 6, S. 140–142.
- (1908). “D’une application de la logique au problème de la langue internationale”. In: *Revue de métaphysique et de morale* XVI.6, S. 761–769.
- (1961). *La logique de Leibniz d’après des documents inédits*. Unveränderter reprographischer Nachdruck der Ausgabe Paris 1901. Hildesheim: Olms.
- Couturat, Louis und Léopold Leau (1903). *Histoire de la langue universelle*. Paris: Hachette.
- Dickstein, S. (1924). “Kochanski inventore de lingua internationale”. In: *Academia pro Interlingua* 4, S. 13–14.
- Diels, Hermann (1899). “Über LEIBNIZ und das Problem der Universalsprache”. In: *Sitzungsberichte der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* XXXII, S. 579–607.
- Eco, Umberto (1993). *La ricerca della lingua perfetta nella cultura europea*. Fare l’Europa (Collana diretta da Jacques Le Goff). Roma-Bari: Laterza.
- Enriques, Federigo (1921). “La lingua internazionale”. In: *Periodico di matematiche*. IV I, S. 371–373.
- Foer, Joshua (2012). “Utopian for Beginners. An amateur linguist loses control of the language he invented”. In: *The New Yorker* December 24 & 31.
- Frege, Gottlob (1896). “Über die Begriffsschrift des Herrn Peano und meine eigene”. In: *Berichte über die Verhandlungen der Königlichen Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Mathematisch-physische Classe* 48, S. 361–378.
- Grattan-Guinness, Ivor (2011). “Giuseppe Peano: a Revolutionary in Symbolic Logic?” In: *Giuseppe Peano between Mathematics and Logic. Proceeding of the International Conference in honour of Giuseppe Peano on the 150th anniversary of his birth and the centennial of the Formulario Mathematico, Turin (Italy), October 2–3, 2008*. Hrsg. von Fulvia Skof. Milan et al.: Springer-Verlag Italia, S. 135–141.
- Hély, Victor (1905). *Esquisse d’une grammaire de la langue internationale conforme aux idées de Leibniz et aux meilleurs des plus récents programmes. Première partie : Les mots et la syntaxe*. Langres: Martin-Berret.
- Hintikka, Jaakko (1997). *Lingua universalis vs. calculus ratiocinator. An ultimate presupposition of twentieth century philosophy*. Bd. 2. Selected papers/Jaakko Hintikka. Dordrecht, London: Kluwer Academic.
- Julien, Stanislas (1869–1870). *Syntaxe nouvelle de la langue chinoise fondée sur la position des mots, suivie de deux traités sur les particules et les principaux termes de grammaire, d’une table des idiotismes, de fables, de légendes et d’apologues, traduits mot à mot par Stanislas Julien*. 2 Bde. Paris: Maisonneuve.
- Kennedy, Hubert C. (2006). *Peano. Life and Works of Giuseppe Peano*. Corrected edition of the book published by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1980. Concord, CA: Peremptory Publications.
- Knowlson, James (1975). *Universal Language Schemes in England and France 1600–1800*. Bd. 29. University of Toronto Romance Series. Toronto und Buffalo: University of Toronto Press.
- Künzli, Andreas (2015). *Eine neue Sprache für Russland und die ganze Welt. Der zähe Kampf der Esperantisten gegen Unterdrückung, Verbote, Zensur und politische Reaktion in einer dem Untergang geweihten Zivilisation. Grundlagen der Verbreitung des Esperanto im Zarenreich 1887–1917. Eine unabhängige, kritisch-problemorientierte Geschichte*. Bd. 3. Unabhängige Schweizer Interlinguistische Studien. Interslavica.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1720). “Explication de l’Arithmétique Binaire, Qui se sert des seuls caractères 0 & 1 ; avec des Remarques sur son utilité, & sur ce qu’elle donne le sens des anciennes figures Chinoises de Fohy”. In: *Histoire de l’Académie Royale des Sciences. Année 1703. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique pour la même Année*. Seconde. Paris: Charles-Estienne Hochereau, S. 85–89.
- (1734). *Recueil de diverses pieces Sur la Philosophie, les Mathématiques, L’Histoire &c. par M. de LEIBNIZ avec II. Lettres où il est traité de la Philosophie &c de la Mission Chinoise, envoyées à Mr. de LEIBNIZ par le P. Bouvet, Jésuite à Pékin*. Hamburg: Abraham Vandenhoeck.
- (1999). *Reihe 6. Philosophische Schriften* / hrsg. von der Leibniz-Forschungsstelle der Universität Münster. Sämtliche Schriften und Briefe. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. De Gruyter.
- Lins, Ulrich (1988). *Die gefährliche Sprache. Die Verfolgung der Esperantisten unter Hitler und Stalin*. Gerlingen: Bleicher.
- (1990). *La danĝera lingvo. Studio pro la persekutoj kontraŭ Esperanto (Die gefährliche Sprache. Studie zu den Verfolgungen des Esperanto)*. 2nd. Moskau: Progreso-Verlag.

- Luciano, Erika (2012). "Peano and His School Between Leibniz and Couturat: The Influence in Mathematics and in International Language". In: *New Essays on Leibniz Reception: In Science and Philosophy of Science 1800–2000*. Hrsg. von Ralf Krömer und Yannick Chin-Drian. Basel: Springer, S. 41–64.
- Luciano, Erika und Clara Silvia Roero (2004). "Dagli esagrammi di Fu-Hi all'aritmetica binaria: Leibniz e Peano". In: *Conferenze e seminari: 2003–2004. Associazione Subalpina Mathesis, Seminario di storia delle matematiche "Tullio Viola"*. Torino: KWB, Williams, S. 49–69.
- Hrsg. (2005). *Giuseppe Peano – Louis Couturat. Carteggio (1896–1914)*. Bd. 16. Archivio della Corrispondenza degli scienziati italiani. Firenze: Leo S. Olschki.
- Maat, Jaap (2004). *Philosophical Languages in the Seventeenth Century: Dalgarno, Wilkins, Leibniz*. Bd. 54. The New Synthese Historical Library. Springer Netherlands.
- Malatesta, Michele (1992). "Algebra and grammar: a Peanian analysis of everyday English". In: *Tetalogicon*, S. 19–38.
- Marrone, Caterina (2002a). *I geroglifici fantastici di Athanasius Kircher*. Scritture. Viterbo: Stampa Alternativa.
- (2002b). "“Naturel” versus “historique” dans le Cours de linguistique générale de Saussure". In: *Cahiers Ferdinand de Saussure* 55, S. 229–239.
- Minnaja, Carlo (2007). "Giuseppe Peano e Louis Couturat sullo sfondo della lingua internazionale". In: *Language problems & language planning* 31.3, S. 281–289.
- Mitchell, Linda C. (2001). *Grammar wars. Language as cultural battlefield in 17th and 18th century England*. Aldershot: Ashgate.
- Mugnai, Massimo (1982). *La logica da Leibniz a Frege*. Bd. 23. Filosofia. Torino: Loescher.
- Müller-Saini, Gotelind (1998). "‘Esperanto – ‚Hoffnung‘ für China? Zu einer chinesischen Diskussion im frühen 20. Jahrhundert". In: *Annäherung an das Fremde*. Hrsg. von Holger Preißler. Stuttgart: Steiner, S. 557–565.
- Müller-Saini, Gotelind und Gregor Benton (2006). "Esperanto and Chinese anarchism, 1907–1920. The translation from diaspora to homeland". In: *Language problems & language planning* 30.1, S. 45–73.
- Mungello, David E. (1985). *Curious Land: Jesuit Accommodation and the Origins of Sinology*. Bd. 25. Studia Leibnitiana: Supplementa. Stuttgart: Steiner.
- Nate, Richard (1993). *Natursprachenmodelle des 17. Jahrhunderts*. Bd. 21. Studium Sprachwissenschaft: Beiheft. Münster: Nodus-Publ.
- Parmentier, Marc (2014). "Relations linguistiques et mathématiques chez Leibniz". In: *Methodos* 14. <http://methodos.revues.org/3808>, 11 S.
- Peano, Giuseppe (1892). "Sopra la raccolta di formule di Matematica". In: *Rivista di Matematica* 2, S. 76–77.
- (1894). *Notations de logique mathématique. Introduction au Formulaire de mathématiques*. Turin: Imprim. Ch. Guadagnini.
- (1895). "Recensione: G. Frege, Grundgesetze der Arithmetik, begriffsschriftlich abgeleitet, 1895". In: *Rivista di matematica* V, S. 122–128.
- (1896). "Introduction au tome II du ‘Formulaire de Mathématiques’". In: *Revue de mathématiques* VI, S. 1–4.
- (1898–99). "La numerazione binaria applicata alla stenografia". In: *Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino* 34. Adunanza del 13 Novembre 1898, S. 47–55.
- (1901a). *Formulaire de mathématiques*. Paris: Carré et Naud.
- Hrsg. (1901b). *Formulaire mathématique*. Edition de l'an 1902–03. Tome IV de l'édition complète. Turin: Bocca Frères.
- (1903). "De Latino sine flexione. Lingua auxiliare internationale". In: *Revue de Mathématiques (Rivista di Matematica)* VIII.3, S. 74–83.
- (1903–1904). "Il Latino quale lingua ausiliare internazionale". In: *Atti della Reale Accad. delle Scienze di Torino* XXXIX, A. S. 273–283.
- Hrsg. (1906). *Formulario mathematico Editio V, Indice et Vocabulario*. (Proba de 100 exemplare). Torino: Fratres Bocca Editores.
- Hrsg. (1908). *Formulario mathematico Editio V*. Kommentierte Faksimile-Ausgabe in Peano 1960. Torino: Fratres Bocca Editores.
- (1909). "[Leitartikel]". In: *Academia Pro Interlingua [Discussiones]* Anno XXII.N. I. S. 1–6.
- (1913). "[Rezension (in Latino sine flexione) von] A. N. Whitehead and B. Russell. *Principia Mathematica*. Vol. I (1910) and II (1912)". In: *Bollettino di bibliografia e storia delle scienze matematiche* XV, S. 47–53, 75–81.
- (1921). "Le definizioni in matematica". In: *Periodico di matematiche*. IV I, S. 175–189.
- (1924a). "De vocabulario". In: *Academia pro Interlingua* 4. Nachdruck in *Schola et Vita* 1 (1926), 191–195, S. 9–13.

- Peano, Giuseppe (1924b). *Interlingua (Historia – Regulas pro Interlingua – De vocabulario – Orthographia – Lingua sine grammatica)*. 1st. 2nd ed., 1925; 3rd ed., 1927. Torino: Cavoretto.
- (1926). “Sinense”. In: *Academia Pro Interlingua [Circularis]* 6, S. 129–130.
- (1929). “Volapük post 50 anno”. In: *Schola et Vita. Organo de Academia pro Interlingua* IV.8–9, S. 225–233.
- (1958). *Opere Scelte. Vol. II: Logica matematica, interlingua ed algebra della grammatica*. A cura dell’Unione Matematica Italiana e col contributo del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Roma: Edizioni Cremonese.
- (1960). *Formulario Mathematico*. Riproduzione in facsimile dell’edizione originale. Con introduzione e note di Ugo Cassina e col contributo del Comune di Cuneo. Roma: Edizioni Cremonese.
- Peano, Giuseppe und Giovanni Vacca (1992). *Lettere di Giuseppe Peano a Giovanni Vacca*. Quaderni P.R.I.S.T.E.M. Milano: Eleusi.
- Peckhaus, Volker (1990/91). “Ernst Schröder und die ‘pasigraphischen Systeme’ von Peano und Peirce”. In: *Modern Logic* 1, S. 174–205.
- (1997). *Logik, Mathesis universalis und allgemeine Wissenschaft. Leibniz und die Wiederentdeckung der formalen Logik im 19. Jahrhundert*. Logica Nova. Berlin: Akademie Verlag.
- Pombo, Olga (1987). *Leibniz and the Problem of a Universal Language*. Bd. 3. Materialien zur Geschichte der Sprachwissenschaft und der Semiotik. Münster: Nodus Publ.
- Qian, Xuantong 錢玄同 et al. (1918). “Zhongguo wenzi yu Esperanto 中國文字與 Esperanto (Die chinesische Schrift und Esperanto)”. In: *Xin Qingnian* 新青年 (La Jeunesse) 5.5, S. 536–544.
- Reich, Karin (1993). “Der Mathematiker Rudolf Mehmkke: Bausteine zu Leben und Werk”. In: *Naturwissenschaft und Technik in der Geschichte. 25 Jahre Lehrstuhl für Geschichte der Naturwissenschaft und Technik am Historischen Institut der Universität Stuttgart*. Hrsg. von Helmuth Albrecht. Stuttgart: Verl. für Geschichte der Naturwiss. und der Technik, S. 263–285.
- Roero, Clara Silvia (1999). “I matematici e la lingua internazionale”. In: *Bollettino dell’Unione Matematica Italiana* Serie 8, Vol. 2-A – La Matematica nella Società e nella Cultura, S. 159–182.
- (2011). “The Formulario between Mathematics and History”. In: *Giuseppe Peano between Mathematics and Logic. Proceeding of the International Conference in honour of Giuseppe Peano on the 150th anniversary of his birth and the centennial of the Formulario Mathematico, Turin (Italy), October 2–3, 2008*. Hrsg. von Fulvia Skof. Milan et al.: Springer-Verlag Italia, S. 83–107.
- Roero, Clara Silvia, Natalia Nervo und Tiziana Armano, Hrsg. (2008). *L’Archivio di Giuseppe Peano*. CD-Rom. Università di Torino: Dipartimento di Matematica.
- Rossi, Paolo (1960). *Clavis Universalis. Arti della memoria e logica combinatoria da Lullo a Leibniz*. Zweite Ausgabe Bologna: il Mulino, 1983, frz. Übers. Rossi und Vighetti (Übers.) 1993, engl. Übers. Rossi 2000. Milano: Ricciardi.
- (2000). *Logic and the Art of Memory. The Quest for a Universal Language*. London: Athlone.
- Rossi, Paolo und Patrick Vighetti (Übers.) (1993). *Clavis universalis: arts de la mémoire, logique combinatoire et langue universelle de Lulle à Leibniz*. Editions Jérôme Millon.
- Saussure, Ferdinand de (1922). *Cours de linguistique générale*. Paris: Payot.
- Savatovsky, Dan (1989). “Les linguistes et la langue internationale, 1880–1920”. In: *Histoire, Epistémologie, Langage* II/11, S. 37–65.
- (1992). “Peano lecteur de Meillet. Logique, grammaire comparée et langue internationale”. In: *Langage* XXVI, S. 96–111.
- Schleiermacher, Friedrich Daniel Ernst (2002). “Akademie-vorträge”. In: *Bd. 11. Erste Abteilung, Schriften und Entwürfe*. Hrsg. von Martin Rössler und Lars Emersleben. Kritische Gesamtausgabe. Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- Sho, Konishi (2013). “Translingual World Order: Language without Culture in Post-Russo-Japanese War Japan”. In: *The Journal of Asian Studies* 72, S. 91–114.
- Slaughter, Mary M. (1982). *Universal Languages and Scientific Taxonomy in the Seventeenth Century*. Cambridge et al.: Cambridge University Press.
- Stockhammer, Robert (2010). “Erfundene Sprachen und die Totalität des Wissens. Von Leibniz zu Peano”. In: *Die Enzyklopädie der Esoterik. Allwissenheitsmythen und universalwissenschaftliche Modelle in der Esoterik der Neuzeit*. Hrsg. von Andreas B. Kilcher und Philipp Theisohn. München: Wilhelm Fink, S. 35–52.
- Stryazhkin, N. I. (1969). *From Leibniz to Peano: A Concise History of Mathematical Logic*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Tscheschichin, Wsewolod (1911). “Grammaticale pasigraphia (ideographia) et neosinographia”. In: *Academia Pro Interlingua [Discussiones]* Anno XXIV, tomo II, N. 4, S. 103–105.
- Vacca, Giovanni (1899). “Sui manoscritti inediti di Leibniz”. In: *Bollettino di bibliografia e storia delle scienze matematiche* 2, S. 113–116.

- (1902). “La logica di Leibniz”. In: *Revue de Mathématiques (Rivista di Matematica)* VIII.3. Hrsg. von G. Peano, S. 64–74.
- (1903). “Notices biographiques et bibliographiques”. In: *Formulaire mathématique*. Édition de l’an 1902–03 (Tome IV de l’édition complète). Hrsg. von Giuseppe Peano. Turin: Bocca Frères, S. 369–385.
- (1904). “Sulla storia della numerazione binaria”. In: *Atti del congresso internazionale di scienze storiche (Roma, 1–9 Aprile 1903)*. Bd. XII. Atti della Sezione VIII: Storia delle scienze fisiche, matematiche, naturali e mediche. Roma: R. Accademia dei Lincei, S. 63–67.
- (1905). “Sulla Matematica degli Antichi Cinesi”. In: *Bollettino di bibliografia e storia delle scienze matematiche* Anno VIII. Ottobre, Novembre e Dicembre, S. 97–102.
- (1933). “Lo studio dei classici negli scritti matematici di Giuseppe Peano”. In: *Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze (Roma 1932)* 21.2, S. 97–99.
- Widmaier, Rita (1981). “Die Rolle der chinesischen Schrift in Leibniz’ Zeichentheorie”. In: *Studia Leibnitiana* 13.2, S. 278–298.
- Wilkins, John (1668). *An Essay Towards a Real Character and a Philosophical Language*. (*An alphabetical dictionary, wherein all English words ... are either referred to their places in the Philosophical tables, or explained by such words as are in those Tables*). London: Printed for Sa. Gellibrand and for John Martyn.
- Zhan, Hui 詹瑋 (1992). *Wu Zhibui yu guoyu yundong* 吳雉暉與國語運動 (Wu Zhihui und die Nationalsprachenbewegung). Bd. 6. Wen shi zhe xueshu congkan 文史哲學術叢刊. Taipei: Wen shi zhe chubanshe 文史哲出版社.
- Zheng Junming, 鄭俊明. *Yibai duo nian qian Xiamen ren xuexi de waiyu – Jiangshu shijie zui de zao renzao yu zai Xiamen de naxie shi'er* 一百多年前廈門人學習的外語—講述世界最早的人造語在廈門的那些事兒 (Eine Fremdsprache, die vor hundert Jahren von Leuten aus Xiamen gelernt wurde – Einige Ereignisse zur ersten künstlichen Universalsprache in Xiamen). http://blog.sina.com.cn/s/blog_5fb272c80100yv6z.html. Zuletzt aufgerufen am 11.9.2016.

Autorinnen und Autoren

Andrea Bréard (*1966) ist Mathematikerin und Sinologin. Ihre Forschungen betreffen die Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften Chinas. Sie promovierte in Philosophie und in Epistemologie und Geschichtswissenschaften. Derzeit ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Karl-Jaspers Zentrum für transkulturelle Forschung (KJC) in Heidelberg sowie als *Maitre de conférences* am Mathematischen Institut der Université de Lille, Sciences et Technologies, tätig.

Horst Bredekamp (*1947) hat nach seinem Studium in Kiel, München, Berlin und Marburg 1974 in Marburg im Fach Kunstgeschichte promoviert. Seit 1993 Professor für Kunstgeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin, ist er seit 1995 ein Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Er ist Sprecher des Exzellenzclusters „Bild Wissen Gestaltung“ und gehört der Gründungsintendanz des Humboldt-Forums in Berlin an.

Johannes Buchmann (*1953) ist Professor für Informatik und Mathematik an der Technischen Universität Darmstadt, wo er auf dem Gebiet der Kryptographie forscht. Sein Lehrbuch *Einführung in die Kryptographie* wurde in sechs Sprachen übersetzt. Er ist Sprecher des Profilbereichs Cybersecurity der TU Darmstadt sowie des DFG Sonderforschungsbereichs „CROSSING – Cryptography-Based Security Solutions: Enabling Trust in New and Next Generation Computing Environments“.

Paul Feigelfeld (*1979) ist Kultur- und Medienwissenschaftler, Verschlüsselungsexperte und Koordinator des Digital Cultures Research Lab am Centre for Digital Cultures an der Leuphana Universität in Lüneburg. Zwischen 2004 und 2011 war er Mitarbeiter des Medientheoretikers Friedrich Kittler und von 2010 bis 2013 war er am Institut für Medienwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin tätig. Aktuell arbeitet er an seiner Dokorthesis *The great loop forward. Incompleteness and Media between China and the West*. Neben seinen akademischen Tätigkeiten arbeitet er als Autor, Übersetzer und Lektor in den Bereichen Kunst, Architektur, Design und Philosophie.

Carl Friedrich Gethmann (*1944) ist seit 2012 Professor am Forschungskolleg „Zukunft menschlich gestalten“ der Universität Siegen. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen der Sprachphilosophie, Phänomenologie und angewandten Philosophie. 2013 wurde er zum Mitglied des Deutschen Ethikrates und 2016 zum Mitglied des Ethikrates der Max-Planck-Gesellschaft ernannt. Er ist Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Martin Grötschel (*1948) ist Mathematiker und seit 2015 Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Zuvor war er Präsident des Konrad-Zuse-Zentrums für Informationstechnik. Er ist bekannt für seine Beiträge im Bereich der Kombinatorischen Optimierung. Er studierte an der Ruhr-Universität Bochum und promovierte und habilitierte in Bonn. Von 1991 bis 2015 war er Inhaber des Lehrstuhls für Informationstechnik an der Technischen Universität Berlin.

Günther Hasinger (*1954) ist Leiter des Instituts für Astronomie an der Universität Hawaii. Er promovierte nach seinem Physikstudium 1984 an der Universität in München und am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik. Nach seiner Habilitation 1995 übernahm er nach Forschungsaufenthalten in den USA einen Lehrstuhl an der Universität Potsdam. Später war er Direktor an den Max-Planck-Instituten für extraterrestrische Physik und Plasmaphysik. Günther Hasinger ist Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Klaus-Dieter Herbst (*1961) studierte Physik, Astronomie und Pädagogik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena und promovierte zur Entwicklung des Meridiankreises. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Geschichte der Astronomie. Derzeit ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bremen im DFG-Projekt „Erstellen eines biobibliographischen Handbuchs der Kalendermacher von 1550 bis 1750“.

Eberhard Knobloch (*1943) promovierte und habilitierte nach seinem Studium der Mathematik und Klassischen Philologie in Berlin. Seit 1981 ist er Professor für Geschichte der exakten Wissenschaften und der Technik an der Technischen Universität Berlin, seit 2002 zusätzlich Akademieforschungsprofessor an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW). Von 2005 bis 2013 war er Präsident der Académie Internationale d'Histoire des Sciences. Er ist Projektleiter der Leibniz-Editionsstellen in Berlin und Potsdam der BBAW und Akademienmitglied.

Sybille Krämer (*1951) promovierte und habilitierte in Philosophie und ist seit 1989 Professorin für theoretische Philosophie an der Freien Universität Berlin. Sie ist Gründungsmitglied des Hermann von Helmholtz-Zentrums für Kulturtechnik und seit 2010 Mitglied im Senat der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Sie war Mitglied im Wissenschaftsrat und im Panel des European Research Council, Brüssel. Sie forscht unter anderem zum philosophischen Rationalismus des 17. Jahrhunderts und zur Exteriorität des menschlichen Geistes.

Thomas Lengauer (*1952) ist seit 2001 Direktor am Max-Planck-Institut für Informatik in Saarbrücken. Er hat in der Vergangenheit sowohl über Grundlagen der Informatik als auch über Anwendungsthemen in der Technik geforscht und beschäftigt sich derzeit hauptsächlich mit Bioinformatik. Er ist designierter Präsident der *International Society for Computational Biology* sowie Mitglied des Präsidiums der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina und leitet deren Wissenschaftliche Kommission „Digitalisierte Gesellschaft“.

Wenchao Li (*1957) ist Inhaber der Leibniz-Stiftungsprofessur der Leibniz Universität Hannover und als Arbeitsstellenleiter der Potsdamer Leibniz-Editionsstelle der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften verantwortlich für die historisch-kritische Edition der Politischen Schriften von Leibniz. Sein Studium der Philosophie, Germanistik, Linguistik und Politikologie absolvierte er in China und Deutschland und hielt nach seiner Habilitation im Fach Philosophie Professuren in Erlangen, Stuttgart, Wolfenbüttel sowie an mehreren chinesischen Universitäten. Li ist Schriftführer der internationalen Leibniz-Gesellschaft, Mitherausgeber der *studia leibnitiana. Zeitschrift für Geschichte der Philosophie und der Wissenschaften* und Mitglied im Comité Directeur der Fédération Internationale des Sociétés de Philosophie (FISP).

Jürgen Mittelstraß (*1936) war nach seiner Promotion (1961) und Habilitation (1968) in Erlangen von 1970 bis 2005 Ordinarius für Philosophie und Wissenschaftstheorie an der Universität Konstanz. Von 2005 bis 2008 war er Präsident der Academia Europaea, der Europäischen Akademie der Wissenschaften mit Sitz in London, von 2005 bis 2015 Vorsitzender des Österreichischen Wissenschaftsrates. Seit 2015 hat er eine Honorarprofessur an der Universität Salzburg inne. Er ist Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Hans Poser (*1937) promovierte über das Denken Gottfried Wilhelm Leibniz'. 1972 wurde er an der Technischen Universität Berlin zum Professor für Philosophie berufen. Von 1977 bis 2014 war er Vizepräsident und Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirats der Gottfried Wilhelm Leibniz Gesellschaft in Hannover. Sein besonderes Forschungsinteresse gilt u. a. der neueren Philosophiegeschichte von Descartes bis Schelling.

Juliane Schiffers (*1977) hat Philosophie und Theaterwissenschaft in Berlin studiert und promovierte dort mit einer Arbeit zur Konzeption von Passivität und Potentialität bei Aristoteles, Leibniz und Heidegger. Sie war von 2008 bis 2014 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Philosophie der Freien Universität Berlin sowie als Lektorin im Verlag Walter de Gruyter tätig. Derzeit ist sie wissenschaftliche Koordinatorin des Jahresthemas *Leibniz: Vision als Aufgabe* an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (Januar bis Oktober 2015/Oktober bis Dezember 2016).

Günter Schmidt (*1937) studierte Wirtschaftswissenschaften an der Universität Köln, wo er bei Prof. Braef im Bereich Versicherungswissenschaft promovierte. Er war Vorstandsmitglied im Gerling-Konzern und bei der Victoria-Versicherung und zuletzt Vorstandsvorsitzender der VGH-Versicherungen in Hannover. Herr Schmidt ist Ehrenmitglied der Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Gesellschaft in Hannover.

Matthias Steinmetz (*1966) ist Professor für Astrophysik an der Universität Potsdam sowie Wissenschaftlicher Vorstand des Leibniz-Instituts für Astrophysik Potsdam und Direktor des Forschungsbereichs Extragalaktische Astrophysik. Seine Forschungsinteressen konzentrieren sich auf die Entstehung und Entwicklung von Galaxien, insbesondere der Milchstraße. Matthias Steinmetz ist derzeit Präsident der Astronomischen Gesellschaft und Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Jürgen Trabant (*1942) forscht zur französischen und italienischen Sprachwissenschaft, sowie zur Semiotik und Sprachphilosophie. Dabei interessiert er sich besonders für die Ideen von Giambattista Vico und Wilhelm von Humboldt. Er ist emeritierter Professor am Institut für Romanische Philologie der Freien Universität, Leiter einer Forschergruppe zur „Symbolischen Artikulation“ an der Humboldt-Universität zu Berlin und Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Toon Van Hal (*1981) studierte Altphilologie, Orientalistik und Geschichte in Belgien und schloss 2008 seine Promotion im Fach Linguistik ab. Im Jahr 2009 erhielt er ein Stipendium der Alexander von Humboldt-Stiftung. Derzeit ist er Dozent am Institut für Sprachwissenschaft an der Universität Leuven.

Roland Wielen (*1938) war seit 1978 Ordentlicher Professor für Astrophysik an der Technischen Universität Berlin. 1985 folgte er dem Ruf auf den Lehrstuhl für Theoretische Astronomie an der Universität Heidelberg und wurde zudem zum Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts des Landes Baden-Württemberg ernannt. Nach ihm ist der Asteroid (4548) Wielen benannt.

Mimmi Woisnitza (*1978) hat Kulturwissenschaften mit Schwerpunkt Literaturwissenschaften in Frankfurt/Oder studiert und mit einer Arbeit über die Rolle der Einbildungskraft als ästhetische Kategorie im Theater des 18. Jahrhunderts an der University of Chicago promoviert. Sie war wissenschaftliche Koordinatorin des Jahresthemas *Leibniz: Vision als Aufgabe* an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (Oktober 2015 bis Oktober 2016).

Günter M. Ziegler (*1963) ist Mathematiker. Nach Studium der Mathematik und Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität in München promovierte er 1987 am Massachusetts Institute of Technology. Von 1995 bis 2011 war er Professor für Mathematik an der Technischen Universität Berlin, dann wechselte er 2011 auf eine MATHEON-Professur an der Freien Universität Berlin. Er ist Sprecher des Jahresthemas *Leibniz: Vision als Aufgabe* und Vorstandsmitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Horst Zuse (*1945) ist der Sohn Konrad Zuses, dem Erfinder des ersten binären Digitalrechners Z3. Er studierte von 1967 bis 1973 Elektrotechnik an der Technischen Universität Berlin. Nach seiner Habilitation (1998) arbeitete er als Privatdozent an der TU Berlin und ist seit 2008 Professor an der Universität Cottbus-Senftenberg.

Das „Jahresthema“ der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

Die Initiative „Jahresthema“ wurde 2007 von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften ins Leben gerufen und hat sich dem Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft verpflichtet. Ziel ist es einerseits, die Öffentlichkeit über die Forschungsprojekte der Akademie zu informieren und zur Diskussion anzuregen. Andererseits geht es darum, die Aktivitäten verschiedener wissenschaftlicher und kultureller Institutionen unter einem Themendach zu bündeln und dadurch die interinstitutionelle Vernetzung nachhaltig zu fördern.

Jahresthema 2007/08 „Europa im Nahen Osten – Der Nahe Osten in Europa“

Mit dem ersten Jahresthema reagierte die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften auf eine politisch-kulturelle Herausforderung: Den vereinfachenden Polarisierungen, die die öffentliche Debatte über den „Nahen Osten“ beherrschten, sollte eine Vielfalt der Perspektiven entgegengesetzt werden, die das gemeinsame kulturelle Erbe betonen. Der Themenschwerpunkt „Europa im Nahen Osten – Der Nahe Osten in Europa“ stützte sich außerdem auf ein gleichnamiges Forschungsprogramm, das die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften gemeinsam mit dem Wissenschaftskolleg zu Berlin und der Fritz Thyssen Stiftung durchführt. Die Leitidee des Programms ist die Erforschung der kulturellen, politischen, sozialen und religiösen Verflechtungen zwischen Europa und dem Nahen Osten. Das Forschungsprogramm stand in der Tradition des Arbeitskreises Moderne und Islam am Wissenschaftskolleg zu Berlin und wurde von der Fritz Thyssen Stiftung finanziert.

Jahresthema 2009/10 „Evolution in Natur, Technik und Kultur“

Was bedeutet die Entschlüsselung des Genoms für unsere Zukunft? Lässt sich globaler Wandel als evolutionärer Prozess beschreiben? Welche Stellung nimmt der Mensch innerhalb der Evolution ein? Haben wir einen freien Willen oder werden wir von egoistischen Genen gesteuert? Dieses Bündel ganz unterschiedlicher Fragen illustriert das inhaltliche Spannungsfeld, in dem sich das Jahresthema 2009/2010 bewegte. Den Hintergrund für den thematischen Fokus bildete das Darwinjahr 2009: Der 200. Geburtstag Darwins traf auf das 150-jährige Jubiläum der Veröffentlichung seines wichtigsten Werkes „The Origin of Species“. Zahlreiche Veranstaltungen verschiedener Einrichtungen des Landes und der Region widmeten sich diesem Thema. Die Akademie ging in ihrer Schwerpunktsetzung jedoch über den biologischen Aspekt hinaus und fragte verstärkt nach technischen und vor allem kulturellen Schwerpunkten des Evolutionsthemas.

Jahresthema 2011/12 „Artefakte. Wissen ist Kunst – Kunst ist Wissen“

Das Jahresthema 2011/2012 zielte darauf, das Verhältnis von Kunst und Wissenschaft neu zu kartographieren. Die Zusammenführung von Kunst und Wissenschaft im theoretischen Diskurs, aber auch in der konkreten Zusammenarbeit von WissenschaftlerInnen und KünstlerInnen,

bietet Möglichkeiten, neue Freiräume zu schaffen, um gesellschaftliche Problemfelder zu identifizieren und zu diskutieren. Dabei wurde ebenso nach Gemeinsamkeiten und Unterschieden im Erkenntnisprozess gefragt wie nach Rollenbildern, Denkstilen und Konventionen, die auf beiden Seiten die Suche nach neuen Ideen befördern oder beengen. Das Jahresthema gab Raum für weiterführende Erkundungen und Sondierungen rund um das Verhältnis von Wissenschaft und Kunst und ließ Stimmen aus verschiedensten Bereichen zu diesem Themenkomplex zu Wort kommen.

Jahresthema 2013/14 „Zukunftsort: Europa“

Das Jahresthema 2013/14 leistete einen Beitrag zu den leidenschaftlichen Debatten um die Zukunft unseres Kontinents. Für ein besseres Verständnis der europäischen Herausforderungen wurde Europa auch als sich stets entwickelnder Prozess thematisiert. Erinnerungskulturen und Zukunftsfragen wurden daher genauso in einen Dialog gebracht wie inner- und außereuropäische Perspektiven auf Europa. In den Veranstaltungen und Projekten des Jahresthemas schauten Wissenschaftler, Schüler und Studierende sowie (internationale) Akteure aus Kultur, Politik und Wirtschaft aus einer interdisziplinären Perspektive auf den Zukunftsort EUROPA. Sie begaben sich auf Spurensuche nach der vergessenen Vielfalt Europas, fragten nach der zukünftigen Rolle des Kontinents in der Welt, aber auch nach europäischen „Blindheiten“ gegenüber anderen Wissens- und Wissenschaftskulturen. „Zukunftsort“ bedeutete: Vergangene und gegenwärtige Visionen von Europa kritisch prüfen, nach ungenutzten Potentialen fragen und neue Potentiale freisetzen.

Weitere Informationen zu den Jahresthemen finden Sie unter <http://jahresthema.bbaw.de>.