Peter Walde, Franta Kraus (Hrsg.)

An den Grenzen des Wissens

v/d|f

An den Grenzen des Wissens

Peter Walde, Franta Kraus (Hrsg.)

An den Grenzen des Wissens

vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Interdisziplinäre Vortragsreihe der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich und der Universität Zürich

Wintersemester 2006/2007

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

Reihe Zürcher Hochschulforum, Bd. 41
© 2008
vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Abb. aus: Camille Flammarion, L'Atmosphère: Météorologie Populaire, Paris 1888.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN 978-3-7281-3105-8
www.vdf.ethz.ch
verlag@vdf.ethz.ch

Inhaltsverzeichnis

7 Vorwort

Jürgen Mittelstraß
9 Was heisst «Grenzen des Wissens»?

Ernst Specker
27 Was ist ein Beweis?

Simon Lilly
43 Measuring the Universe in Space and Time – the New Cosmology

Jürg Fröhlich
67 Reise durch die Physik an ihre Grenzen

Norbert Straumann
103 Materie, Antimaterie und Dunkle Energie

Gereon Wolters
127 Den Kosmos *denken*: Grenzen des Universums in der Geschichte der Philosophie

Peter Schuster
147 Ursprung des Lebens aus der Sicht der Chemie

Eörs Szathmáry
185 The Genetic Code and Natural Language: their Nature, Origins and Relation

Karin Mölling
209 Leben Viren?

Gerhard Vollmer
233 Zu dumm, zu teuer, zu gefährlich – Von den Grenzen der Wissenschaft

Pierre Bühler
261 Zwischen Glauben und Wissen – Grenzziehungen und Grenzüberschreitungen

279 Autorin und Autoren/Herausgeber

Vorwort

Unter dem Titel «An den Grenzen des Wissens» wurde im Wintersemester 2006/2007 eine von der Universität Zürich und der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH) getragene öffentliche interdisziplinäre Veranstaltungsreihe durchgeführt. Die Idee war, anhand ausgewählter Beispiele aufzuzeigen, an welchen Grenzen des heutigen Wissens wir uns bewegen. Es sollte allgemein verständlich dargelegt werden, wie wir heutzutage einige konkrete, allgemein interessierende naturwissenschaftliche Fragen beantworten oder zu beantworten versuchen. Welche Vorstellungen haben wir heute von der Entstehung des Universums? Was ist Antimaterie, was wissen wir über die sogenannte Dunkle Energie, was ist Licht? Was wissen wir über die Entstehung des Lebens? Warum bereiten uns Viren so grosse Schwierigkeiten? Die naturwissenschaftlichen Fragestellungen wurden durch philosophische Betrachtungen und eine Diskussion über die Grenzen zwischen Wissen und Glauben ergänzt.

Das vorliegende Buch enthält eine Sammlung der gehaltenen Vorträge. Vielleicht wird beim Lesen des einen oder anderen Beitrags bewusst, dass wir zu vielen grundlegenden Fragen noch immer keine befriedigenden Antworten haben. Unser naturwissenschaftliches Wissen basiert auf Erfahrungen, Vorstellungen, Hypothesen und erarbeiteten Modellen und Theorien. Viele der Theorien werden laufend ergänzt und korrigiert, und es wird vermutlich noch einige Zeit dauern, bis uns auf Grund neuer – heute noch unbekannter – Erkenntnisse die Antwort auf die eine oder andere Frage etwas leichter fallen wird.

Zürich, 1. Juli 2007
Franta Kraus und Peter Walde

Jürgen Mittelstraß

Was heisst «Grenzen des Wissens»?

Wer von Grenzen des Wissens spricht, denkt zunächst einmal an sich selbst – an das, was man weiss und was man nicht weiss, wobei sich schnell herausstellt, dass das eigene Wissen ein beschämend kleiner Teil nicht nur eines möglichen, sondern auch eines wirklichen Wissens, des Wissens anderer, ist. Meist ist man sich nicht einmal sicher, ob das, was man zu wissen glaubt, auch wirkliches Wissen ist, d.h. ein Wissen, das sich jederzeit als begründet erweist und kritischen Nachfragen standhält. Zwischen Wissen, Meinen und blossen Vorstellungen vom Wissen tun sich – nicht nur in der Alltagswelt – Abgründe auf. Zumindest bewegt man sich auf unsicherem Gelände.

Wer hier nicht grosszügig gegenüber sich selbst verfährt – dem eigenen Wissen bzw. für Wissen Gehaltenen schlicht vertraut, sich gelegentlich auch auf einen common sense beruft (der keineswegs irrtumsfrei ist) –, wird schnell zum Skeptiker. Wenn es mir schon so geht, dass ich mich auf das, was ich weiss, was ich zu wissen glaube, nicht verlassen kann, warum sollte es beim Wissen anderer, und gelte es noch so als gewiss, anders sein? Die eigene Unsicherheit wird schnell zur erkenntnistheoretischen Gewissheit: Wissen ist prinzipiell fehlbar, potentielles Nichtwissen, von Meinung – bis hin zum «rationalen Glauben» (rational belief) – nicht ein für allemal unterscheidbar. Und wenn doch etwas für Wissen gehalten wird, weil es sich immer wieder bestätigt hat, dann sind seine Grenzen in der Regel eng. Die Wirklichkeit von Grenzen des Wissens ist aufdringlicher als das Versprechen unbegrenzten Wissens.

Überhaupt ist die Erfahrung von Grenzen etwas ganz Normales, unser Leben auf Schritt und Tritt Begleitendes. Nicht nur unsere intellektuellen Vermögen sind begrenzt; das gleiche gilt von unseren körperlichen Fähigkeiten und von den Umständen, in denen wir uns bewegen. Alles Glück hat ein Ende, alles Können stösst an Grenzen, natürliche oder individuell bedingte, alles Wünschen hilft über Begrenztheiten, die sich in der Wirklichkeit aufdringlich zur Geltung bringen, nicht hinweg. Der Mensch erfährt sich über das Misslingen wie über das Gelingen; die conditio humana ist selbst eine begrenzte.

Doch nicht von derartigen Grenzen soll hier die Rede sein, sondern von Grenzen, die (tatsächlich oder auch nur vermeintlich) den *wissenschaftlichen* Verstand betreffen. Dass das Wissen in der Regel von nur begrenzter Reichweite ist, erfährt schmerzlich nicht nur der Alltagsverstand, sondern auch der wissenschaftliche Verstand. Auch Wissenschaft ist ein endliches Geschäft, und auch in der Wissenschaft ist der Skeptizismus zu Hause – jedenfalls dort, wo die Wissenschaft denkt, d.h. auf ihre Weise philosophisch wird.

Mein Vortrag hat fünf Teile. Der erste betrifft eine Grenze, die eigentlich gar keine Grenze ist, vor der unsere Fähigkeiten, hier unsere wissenschaftlichen Fähigkeiten, enden. Begrenzung kann auch Eigenschaft von etwas Vollkommenem sein. Der zweite handelt von einer Kugel, die im Unendlichen schwimmt und ständig wächst – ein kleines Geschenk für Metaphernfreunde und rationale Träumer. Im dritten Teil hat die Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie das Wort, die über gegebene oder nicht gegebene Grenzen des Wissens ihre eigenen Vorstellungen besitzt. Dass es dabei auch andere Grenzen des Wissens und der Wissenschaft als die möglicherweise in der Wissensbildung, ihren Bedingungen und Formen selbst liegenden geben könnte, damit befasst sich der vierte Teil, bevor es dann im fünften Teil noch einmal philosophisch wird. Schliesslich hat die Philosophie schon immer über Grenzen des Verstandes, auch des wissenschaftlichen, nachgedacht – und ist dabei bis heute zu keinem definitiven Ergebnis gekommen. Die Überlegungen über Grenzen des Wissens enden hier denn auch mit einem Lob der Unvollkommenheit.[1]

1. Ende der Wissenschaft

Von Grenzen und von Ende zu reden, scheint zu bedeuten, sich ins Unvermeidliche zu fügen, und dies eben auch in Wissensdingen. Es geht nicht weiter, wo es eigentlich weitergehen sollte; ein Halt wird zum erzwungenen Halt, es ist kein Weiterkommen mehr. Doch dies ist, jedenfalls auf die Semantik der Worte Ende und Grenze bezogen, nicht unbedingt so. *Ende* muss nicht *Grenze* bedeuten. Eine Grenze trennt eine Seite von der anderen – hier das, was wir wissen, von dem, was wir nicht wissen –, ein Ende nicht in allen Fällen. Zwar endet auch hier das Wissen vor dem Nichtwissen, doch kann Ende auch ganz einfach bedeuten, dass da nichts mehr ist, das vermuten liesse, dass es überhaupt weitergehen könnte. Der Tod ist ein solches Ende (jedenfalls für denjenigen, für den der Glaube an ein Leben nach dem Tode ein blosser Kinderglaube ist), aber auch das Eintreten der Dunkelheit als Ende des Tages oder der Schlusspfiff in einem Spiel. Ein Ende dieser Art ist nicht eine verhinderte Fortsetzung, ein erzwungenes Ende, sondern der Übergang in einen anderen Zustand. Wo das Leben einmal war, ist jetzt der Tod, wo Tag war, ist jetzt Nacht, wo gespielt wurde, beginnt (wieder) der Ernst des Lebens (der Kalauer «nach dem Spiel ist vor dem Spiel» ändert daran nichts).

Ebenso könnte es sich auch im Falle des wissenschaftlichen Wissens verhalten, wenn nämlich das Wissen nicht an irgendeine Grenze stösst, sondern sein (heimliches oder deklariertes) Ziel, *vollständiges* oder *vollendetes* Wissen zu sein, erreicht hat. Vollendetes Wissen hiesse, alles zu wissen, was es zu wissen gibt, alle Probleme gelöst zu haben, die sich dem Verstand, hier dem wissenschaftlichen Verstand, stellen, die Welt bis in alle Ecken, getrieben von wissenschaftlicher Neugierde, ausgeleuchtet und ihre Gesetze verstanden zu haben. Alles wäre erklärt, was einer Erklärung bedarf, alles wäre begriffen, wozu wissenschaftliche Anstrengungen erforderlich sind. Ein Wissen, das alles weiss, liesse keine Wünsche mehr offen; der wissenschaftliche Verstand hätte keine Aufgabe mehr. Sein Ende wäre nicht ein Scheitern vor vermeintlichen Grenzen, ein zu frühes Ende, sondern sein Triumph. Er hätte sein Ziel erreicht.

Tatsächlich ist dies eine in der Wissenschaftsgeschichte häufig anzutreffende Vorstellung. So schreibt Diderot, mit d'Alembert Herausgeber der grossen französischen Enzyklopädie (1751–1780), die auf ihre Weise so etwas wie eine vollständige Darstellung des (zeitgenössischen) Wissens beansprucht, 1754: «Ich möchte fast versichern, dass man in Europa vor

Ablauf eines Jahrhunderts nicht drei grosse Mathematiker zählen wird. Diese Wissenschaft wird plötzlich dort stehenbleiben, wo die Bernoulli, Euler, Maupertuis, Clairaut, Fontaine, d'Alembert und Lagrange sie verlassen haben. Sie werden die Säulen des Herkules errichtet haben. Man wird nicht darüber hinausgehen. Ihre Werke werden in den kommenden Jahrhunderten fortbestehen wie jene ägyptischen Pyramiden, deren hieroglyphenbedeckte Steinmassen bei uns eine erschreckende Idee von der Macht und den Hilfsmitteln der Menschen hervorrufen, die sie erbaut haben.»[2] Wissenschaft, d.h. Mathematik und – auch dafür stehen die hier genannten Namen – Physik, wären vollendet, bewundert von denjenigen, die nach der Wissenschaft kommen. Wissenschaft als Ausstellungsstück? Wissenschaft: ein abgeschlossenes Kapitel der Menschheit?

Ganz ähnlich äussert sich in den 1970er Jahren ein einflussreicher amerikanischer Physiker in einem wissenschaftspolitischen Gutachten für die National Academy of Science in den USA: «Es ist möglich, von der Grundlagenphysik zu denken, dass sie einmal vollendet sein wird. Es gibt nur ein Universum zu erforschen, und die Physik kann, anders als die Mathematik, nicht durch rein geistige Erfindungen ins Unendliche fortgesponnen werden. Die logische Beziehung der Physik zur Chemie und den anderen Wissenschaften ist dergestalt, dass die Physik das erste abgeschlossene Kapitel sein wird. (...) In dem Bereich, den man früher als organisierte Komplexität charakterisierte, mögen einige ungelöste Probleme verbleiben; aber diese werden in die Verantwortlichkeit der Biophysiker und Astrophysiker übergehen. Die elementare Physik wird abgeschlossen sein wie gegenwärtig die euklidische Geometrie.»[3] Nicht anders klingt es aus dem Munde Steven Weinbergs, Nobelpreisträger 1979: «Mein Glaube an eine endgültige Theorie beruht (...) darauf, dass unser Bild der Natur immer einfacher geworden ist. (...) Sicher, die Mathematik ist komplizierter, schwieriger, abstrakter geworden. Dafür sind die physikalischen Prinzipien eleganter, natürlicher, und vor allem sind es weniger geworden. (...) Und Fortschritt in Richtung auf Einfachheit muss irgendwann zu einem Ende kommen.»[4]

Auch hier ist klar, dass ein Ende der Wissenschaft keineswegs Ausdruck mangelnder wissenschaftlicher Leistungsfähigkeit, und in diesem Sinne von gegebenen oder dem menschlichen Verstand aufgezwungenen Grenzen, wäre bzw. so gesehen wird, sondern im Gegenteil der überzeugendste Nachweis der Leistungsfähigkeit dieses Verstandes, ja seines Triumphes über die Natur und die von dieser dem Verstand gestellten

Probleme. Grenzen des Wissens wären erfüllte Grenzen; jenseits dieser Grenzen läge nichts mehr, was wissenschaftlich von Belang wäre oder der Wissenschaft neue Aufgaben stellen könnte. Wo die Natur einmal entdeckt und bis in alle Einzelheiten erforscht ist, wo ihre Gesetze vollständig erfasst und in Lehrbüchern niedergelegt sind, gibt es nichts mehr zu entdecken, nichts mehr zu erforschen, kommt das Wissen zum Stehen. Es kann auch nicht mehr enttäuscht, durch besseres Wissen ersetzt werden. Es ist für den menschlichen Verstand kein Thema mehr.

Dieser Meinung ist auch ein früherer Redakteur des «Scientific American», einer bedeutenden wissenschaftlichen Zeitschrift, dessen Buch «The End of Science», in der deutschen Übersetzung vorsichtiger mit «An den Grenzen des Wissens» wiedergegeben, vor wenigen Jahren grosses Aufsehen erregte (allerdings weniger in der wissenschaftlichen Welt).[5] Hier gilt das Ende der Wissenschaft in dem Sinne als nahe, dass ihr Erfolg ihr eigenes Ende ist. Die Geschichte wissenschaftlicher Entdeckungen wäre abgeschlossen, alle grossen Theorien, möglicherweise in einer «Theorie über alles» (theory of everything) zusammengefasst, wären geschrieben, alle wissenschaftlichen Themen erledigt; übrig blieben allenfalls Aufräumarbeiten, bliebe ein wissenschaftliches Reinemachen für kleinere Geister. Die grösseren hätten ihre Pflicht getan. Wissenschaft, noch einmal, wäre vollendet, der menschliche Verstand müsste sich nach neuen Aufgaben, jenseits aller wissenschaftlichen Aufgaben, umsehen. Zweifellos eine seltsame Vorstellung.

2. Die Wissenskugel

An dieser Stelle führe ich gegen das Bild einer (nahen oder fernen) vollendeten Wissenschaft, in dem sich die ein für allemal erledigten Aufgaben des wissenschaftlichen Verstandes spiegelten, gern ein anderes Bild an. Es ist das Bild einer Wissenschaft, das vielleicht nicht die Phantasie der Wissenschaftsphilosophen, die mal in Kategorien einer unendlichen Irrtumsanfälligkeit der Wissenschaft, mal in Visionen ihrer Vervollkommnung denken, dafür aber die Wirklichkeit der Wissenschaft auf seiner Seite hat.[6] Diese allen Wissenschaftlern vertraute Wirklichkeit besagt, dass mit jedem gelösten wissenschaftlichen Problem neue Probleme entstehen, mit jeder beantworteten Frage neue Fragen, mit jedem gewonnenen Wissen neue Unwissenheiten. Auch dass diese Unwissenheiten nicht

Teil eines Rechnens hinter dem Komma sind, also eigentlich etwas Vernachlässigbares, ist eine im wissenschaftlichen Alltag sehr vertraute Erfahrung. Schliesslich haben wir es hier mit Fragen der Art zu tun: Wie entwickelt sich aus einer einzigen Zelle ein ganzer Organismus? Wie sind Galaxien, wie ist unser Universum entstanden? Was passiert in schwarzen Löchern? Was ist (zwischen Philosophie und Hirnforschung) das Bewusstsein? Fragen über Fragen, und alle bei weitem noch nicht beantwortet. Das lässt sich, im Anschluss an eine schon beim Philosophen und Mathematiker Pascal, allerdings in einem anderen Zusammenhang, auftretende Metapher, auch in einem Bild formulieren: Das (wissenschaftliche) Wissen ist eine Kugel, die im All des Nichtwissens schwimmt und beständig grösser wird. Mit ihrem Wachsen vergrössert sich ihre Oberfläche, und mit dieser vermehren sich auch die Berührungspunkte mit dem Nichtwissen.

Dieses Bild kennt die Vorstellung einer Begrenzung des Wissens nicht, und es lässt zwei Deutungen zu, deren eine man als eine pessimistische und deren andere man als eine optimistische Deutung bezeichnen könnte. Die *pessimistische* Deutung besagt: Wenn es der *Radius* der Kugel ist, der das Wissen repräsentiert, dann wächst bei Vergrösserung der Kugel die Oberfläche schneller als der Radius, nämlich mit der 2. Potenz. Also wächst das Nichtwissen schneller als das Wissen, oder anders formuliert: Die (wissenschaftliche) Forschung produziert ein schnelleres Wachstum des Nichtwissens als des Wissens. Ein verblüffendes, aber durchaus – jedenfalls auf die hier verwendete elementare Mathematik bezogen – korrektes Resultat. In der *optimistischen* Deutung wäre es dann nicht der Radius, sondern das *Volumen* der Kugel, das das Wissen repräsentiert. Wenn die Kugel wächst, dann wächst ihr Volumen schneller als ihre Oberfläche, nämlich mit der 3. Potenz des Radius. In diesem Falle produziert die (wissenschaftliche) Forschung zwar ebenfalls immer mehr Nichtwissen, aber das Wissen wüchse trotzdem schneller als das Nichtwissen.

Für welche Deutung unserer Wissenskugel man sich auch entscheidet, eines ist jedenfalls in diesem Bild und wohl auch in der Erfahrung des Wissenschaftlers, der nicht gleich mit den grossen Rahmentheorien seiner Disziplin oder gar einer «Theorie über alles» beschäftigt ist, klar: Das wachsende Wissen macht die Welt des noch nicht Gewussten, des noch nicht Erforschten nicht etwa kleiner, sondern sogar grösser. Die Forschungsaufgaben wachsen mit dem (wachsenden) Wissen; dem Nicht-

wissen und dem Versuch, es in Wissen zu verwandeln, sind keine Grenzen gesetzt. Es ist vielmehr die ständige Berührung mit dem Nichtwissen, gelegentlich auch – nicht nur in den Köpfen philosophisch gesonnener Wissenschaftler – die Witterung des Undenkbaren oder Unvorstellbaren oder des doch dafür Gehaltenen, die die Wissenschaft in Bann hält, die ihren langen Atem ausmacht auch dort, wo sich das schon Gewusste als Wissen kurz vor seiner Vollendung darzustellen sucht oder sich diese Vollendung als das mit den verfügbaren Mitteln nicht Erreichbare oder als das aus erkenntnistheoretischen Gründen dem Wissen prinzipiell Entzogene zu erweisen scheint. Hier wären Grenzen also wirklich aufgelöst bzw. stellte sich das (wissenschaftliche) Wissen als seinem Wesen nach grenzenlos dar. Weder gäbe es Grenzen, gegen die der wissenschaftliche Verstand vergeblich anrennt, noch Grenzen, die in Wahrheit Ausdruck von Vollendung, von vollendeter Wissenschaft sind.

Dass eine derartige Vorstellung auch die Technik einschliesst, mit der der Mensch über die Natur zu herrschen gelernt hat, darauf hat schon der englische Mathematiker Charles Babbage, Erfinder einer programmgesteuerten Rechenmaschine, hingewiesen: «Die Ausbreitung und das Wachstum von Wissenschaft und Erkenntnis ist durch ganz andere Gesetze bedingt als die, welche die Welt der Materie beherrschen. Ungleich den Anziehungskräften der Atome, die in gewissen Entfernungen zu wirken aufhören, oder denen der Gravitation, die mit der wachsenden Entfernung von ihrem Zentralpunkt schnell abnehmen, wird das Reich der Erkenntnis um so ausgedehnter, je tiefer wir in es eindringen, und die Kraft der Forschenden unterwirft sich in fortwährender Zunahme immer neue Gefilde. Weit davon entfernt, dass diese unausgesetzt und schnell anwachsende Herrschaft die Erschöpfung so fruchtbarer Felder jemals befürchten liesse, gelangen wir vielmehr bei jedem Fortschritt auf einen höheren Punkt, von wo aus dem die Vergangenheit überblickenden Geiste die Überzeugung unwiderstehlich sich aufdrängt, dass alles bereits Gewonnene in einem fortwährend abnehmenden Verhältnisse zu dem steht, was von dem immer und immer sich erweiternden Horizont unseres Wissens umschlossen wird.»[7] Heisst das alles also, dass die Frage nach Grenzen des (wissenschaftlichen) Wissens in Wahrheit eine müssige, durch die wissenschaftliche Arbeit selbst immer wieder im Sinne einer Grenzenlosigkeit des Wissens beantwortete Frage ist? Ja und nein, wie wir gleich sehen werden.

3. Wissenschaftstheoretische Reflexionen

Wer die Frage nach Grenzen des (wissenschaftlichen) Wissens verneint, setzt sich nicht nur in Gegensatz zu einer zuvor unter dem Stichwort einer vollendeten Wissenschaft erläuterten Endlichkeitsthese – das Reich des (wissenschaftlich) Wissbaren ist endlich, also ist auch das Wissen selbst endlich –, sondern auch zum Alltagsverstand und zum philosophischen Verstand. Für den Alltagsverstand sind Grenzen etwas ganz Normales – die Erfahrungswelt, in der wir uns bewegen, ist selbst eine begrenzte –, für den philosophischen Verstand liegt gerade im Gegebensein von Beschränkungen, seien diese nun anthropologischer oder erkenntnistheoretischer Art, und deren Reflexion die Besonderheit aller menschlicher Orientierungen, die Begrenztheit der conditio humana, der menschlichen Befindlichkeit zwischen Tier und Gott. Allerdings geht es dem philosophischen Verstand auch weniger um faktische oder prinzipielle Grenzen des wissenschaftlichen Wissens als um *Bedingungen* begründeten Wissens allgemein, in klassischer Form etwa formuliert als die Frage nach *empirischen* Bedingungen bei Locke (und dem klassischen Empirismus) oder als die Frage nach *transzendentalen* Bedingungen bei Kant (und dem klassischen Rationalismus). Um derartige Fragen geht es in der Regel nicht, wenn die Wissenschaft nach ihren Grenzen fragt.

Das tut sie z.B. auch unter einer wissenschaftshistorischen Perspektive: «Die Wissenschaft ist drei- oder vierhundert Jahre lang ununterbrochen vorangeschritten; jede neue Entdeckung hat zu neuen Fragestellungen und neuen Lösungsmethoden geführt sowie neue Explorationsfelder eröffnet. Bis dato waren die Männer der Wissenschaft» – in den 1930er Jahren, aus denen dieses Zitat stammt, waren die Frauen in der Wissenschaft offenbar noch nicht entdeckt – «noch nicht zum Einhalten gezwungen, sie haben immer neue Mittel und Wege gefunden, weiter voranzuschreiten. Aber: wer versichert uns, dass sie nicht eines Tages an unüberwindbare Barrieren stossen werden? Die Erfahrung aus vierhundert Jahren, in denen die Umrisse der Natur erfolgreich ertastet worden sind, können kaum für Rückschlüsse auf die Aussicht von Handlungen bürgen, die sich über vierhundert oder viertausend Jahre erstrecken. Wie können wir sicher sein, ob der Fortschritt nicht eines Tages bei einem toten Punkt anlangt, nicht weil sich das Wissen erschöpft hat, sondern weil unsere Untersuchungsressourcen erschöpft sind – weil z.B. die wissenschaftlichen Instrumente die Grenzen der Perfektion erreicht haben,

jenseits derer es nachweislich unmöglich ist, weitere Verbesserungen vorzunehmen, oder weil wir es (wie im Falle der Astronomie) mit Kräften zu tun haben, von denen wir – im Gegensatz zur Gravitation – keine irdische Erfahrung besitzen?»[8] Grenzen in diesem Sinne wären hinzunehmende Begrenzungen des wissenschaftlichen Verstandes, also begrenzte Wahrnehmungs- und Wissensbildungskapazitäten, die auch die instrumentellen Bedingungen des Wissens beträfen.

Die Wissenschaftstheorie erörtert diese Fragen, meist bezogen auf die Naturwissenschaften, in Form zweier Thesen:[9] 1. Die These von der vollständigen oder asymptotischen *Ausschöpfung der Natur*. Sie entspräche der erwähnten Endlichkeitsthese, wenn hier Endlichkeit als Vollendung verstanden wird. Danach wäre die Geschichte der wissenschaftlichen Entdeckungen entweder absolut endlich oder ginge irgendwann einmal in eine asymptotische Annäherung an das, was man überhaupt wissen kann, über. Die Stelle von Entdeckungen und neuen Einsichten nähmen weitere Ausarbeitungen, Ergänzungen und Präzisierungen ein. Wissenschaft hätte also irgendwann keine Zukunft mehr, weil – noch einmal – alles entdeckt wäre, was es zu entdecken gibt, und alles erklärt wäre, wozu es wissenschaftlicher Erklärungen bedarf, und auch die Aufräumarbeiten, das Rechnen hinter dem Komma, das Einordnen weiterer, nichts wesentlich Neues mehr besagender Fälle, allmählich zum Abschluss kämen. 2. Die These von der vollständigen oder asymptotischen *Ausschöpfung der Informationskapazitäten*. Diese These ist die eben aus wissenschaftshistorischer Perspektive vertretene. Danach wären wissenschaftliche Informationsmöglichkeiten entweder wieder absolut endlich oder gingen irgendwann in eine asymptotische Annäherung an absolute Informationsgrenzen über. Auch hier wären es dann im wesentlichen Ausarbeitungen, Ergänzungen und Präzisierungen, die an die Stelle von Entdeckungen und neuen Einsichten träten. Wissenschaft hätte ihre eigenen Forschungs- und Artikulationsmöglichkeiten ausgeschöpft, zwischen ihr und einer möglicherweise nicht ausgeschöpften Natur stünde eine unüberwindliche «Informationsbarriere», über die allenfalls Phantasie und Science-Fiction, d.h. imaginative Einfälle und Erklärungen ohne Nachweis- und Begründungsverpflichtungen, hinweghülfe – mit Alice und U.S.S. Enterprise ins Grenzenlose, leider aber auch Beliebige.

Hinter all dem steht die Frage, ob der (wissenschaftliche) Fortschritt noch eine Zukunft hat. Diese Frage ist nur vermeintlich paradox, weil in der gewohnten Semantik Fortschritt Zukunft bedeutet und Zukunft ohne

Fortschritt oder Entwicklung keine Zukunft wäre. Sie ist allerdings in den Grenzen der beiden angeführten Thesen tatsächlich auch unbeantwortbar. Das macht, ohne dass hier gleich wieder das Bild von der Wissenskugel bemüht werden müsste, schon ein Hinweis auf die Verbindung aller Forschung mit *Fragen* und *Zwecken* deutlich. Fragen steuern unser Suchen auch in der Wissenschaft, und jede beantwortete Frage führt, wie schon erwähnt, in der Wissenschaft zu neuen Fragen. Darauf hat übrigens schon Kant in einem wissenschaftstheoretischen Zusammenhang hingewiesen: «Wer kann sich bei der blossen Erfahrungserkenntnis in allen kosmologischen Fragen, von der Weltdauer und Grösse, der Freiheit oder Naturnotwendigkeit, befriedigen, da, wir mögen es anfangen, wie wir wollen, eine jede nach Erfahrungsgrundsätzen gegebene Antwort immer eine neue Frage gebiert, die eben so wohl beantwortet sein will, und dadurch die Unzulänglichkeit aller physischen Erklärungsarten zur Befriedigung der Vernunft deutlich dartut?»[10]

Das Gleiche gilt von Zwecken. Wer forscht, verfolgt Zwecke, wie alles Handeln unter Zwecken steht, mögen diese im wissenschaftlichen Falle nun rein erkenntnisorientiert oder anwendungsorientiert sein. Das aber bedeutet: Wenn Forschung nicht allein durch den jeweils erreichten Forschungsstand, sondern auch durch die mit ihm verbundenen und durch ihn bedingten Fragen und (sowohl internen als auch externen, d.h. wissenschaftsimmanenten und gesellschaftlichen) Zwecke bestimmt ist, dann schlösse die Vorstellung von einem Ende des (wissenschaftlichen) Fortschritts nicht nur die Behauptung «Wir wissen alles (was wir wissen können)», sondern auch die Behauptungen «Wir kennen alle Fragen (die wir stellen können)» und «Wir kennen alle Zwecke (die wir haben können)» ein. Die Zahl der möglichen Fragen und Zwecke aber ist wirklich unbegrenzt bzw. unbegrenzbar. Wie sollten wir auch die Fragen kennen, die die Forschung in Zukunft noch aufwerfen wird, desgleichen die Zwecke, die sich in Zukunft mit einem forschenden Tun verbinden werden? Um die Frage «Hat der (wissenschaftliche) Fortschritt noch eine Zukunft?» beantworten zu können, müssten wir also in gewisser Weise schon heute wissen, was wir gerade nicht wissen – was nur der wissenschaftliche Fortschritt oder sein Ausbleiben zeigen könnte. Und dies gilt vom Wissen allgemein, insofern die Verbindung zwischen Wissen, Fragen und Zwecken nicht nur für das wissenschaftliche Wissen zutrifft.

Damit scheint erneut die Frage nach Grenzen des (wissenschaftlichen) Wissens beantwortet zu sein, und zwar im Sinne theoretischer oder

epistemischer Grenzenlosigkeit. Doch das gilt nur im Allgemeinen. Tatsächlich kennt die moderne Forschung, auch wenn sie den hier vertretenen Standpunkt teilt, *epistemische* Grenzen. Beispiel: der Zusammenhang zwischen Gesetzmässigkeit und Voraussagbarkeit. Lange Zeit galt die Vorstellung, dass Gesetzmässigkeit, hier in Form eines deterministischen Weltbildes, Voraussagbarkeit impliziert, entsprechend Nichtvoraussagbarkeit ein indeterministisches Weltbild. Diese Vorstellung trifft jedoch nicht zu. Das kommt schon in Plancks Hinweis zum Ausdruck, dass sich das klassische Diktum «Ein Ereignis ist dann kausal bedingt, wenn es mit Sicherheit vorausgesagt werden kann»[11] so nicht aufrechterhalten lasse, man vielmehr gezwungen sei, «den folgenden Satz als eine gegebene festliegende Tatsache anzuerkennen: In keinem einzigen Fall ist es möglich, ein physikalisches Ereignis genau vorauszusagen.»[12] In gleicher Weise steht bereits einige Jahre zuvor (1927) für Heisenberg fest, dass «in prinzipieller Hinsicht» aus der Quantenmechanik folge, «dass das Kausalgesetz in gewisser Weise gegenstandslos wird. Weil man die Anfangsbedingungen nie genau kennt, kann man den mechanischen Ablauf nie genau berechnen. (...) An der scharfen Formulierung des Kausalgesetzes: Wenn wir die Gegenwart kennen, können wir die Zukunft berechnen, ist nicht der Nachsatz, sondern die Voraussetzung falsch.»[13] Das jedoch bedeutet kein letztes Wort über die Möglichkeit einer deterministischen Welt. Erforderlich ist vielmehr, die Begriffe des Determinismus und der Voraussagbarkeit voneinander zu trennen; Determinismus hier in der Bedeutung, dass, wenn zwei mögliche Welten zu einem gegebenen Zeitpunkt übereinstimmen, sie zu allen Zeitpunkten übereinstimmen.[14] Das schliesst Hindernisse der Voraussagbarkeit bei einem gegebenen Weltzustand und deterministische Entwicklung nicht aus. Das heisst: Auch in einer deterministischen Welt gibt es Grenzen der Voraussagbarkeit.

Dafür lassen sich zwei Gründe geltend machen. Erster Grund: Das *deterministische Chaos*. Hier geht es um eine starke Abhängigkeit der Zustände eines Systems von den Werten bestimmter Parameter. Da diese Werte nie exakt bekannt sein können, ist die Voraussage zukünftiger Systemzustände stets mit Unsicherheiten belastet, die sich bei chaotischen Systemen in ganz verschiedenartige Entwicklungen umsetzen. Dabei tritt Nichtvoraussagbarkeit als Folge von Chaos keineswegs allein bei komplexen Systemen auf, sondern bereits bei einfachen, nur aus wenigen Bestandteilen bestehenden Systemen. So stellen zwei gekoppelte Pendel im

Prinzip ein einfaches System dar, für das die einschlägigen Gesetze seit Jahrhunderten bekannt sind. Doch erst in jüngerer Zeit wurde klar, dass bei einer solchen Anordnung in einem bestimmten Bereich von Anfangsbedingungen, den Systemanregungen mittlerer Stärke, chaotische, also nicht mehr voraussagbare Schwingungszustände vorliegen können. Ein anderes Beispiel ist das Wetter bzw. die Meteorologie, die den ursprünglichen Anstoss zum Studium chaotischer Effekte lieferte: Schon der Flügelschlag eines Schmetterlings kann die Konvektionsströmungen der Luft in der Erdatmosphäre und damit die Entwicklung des Wetters entscheidend verändern.[15] Allgemeiner formuliert: Auch wenn man die exakten Bewegungsgleichungen eines Systems kennen mag, bedeutet das nicht, dass man auch in der Lage wäre, die zeitliche Evolution dieses System vorauszusagen.

Zweiter Grund: Das Problem eines *Laplaceschen Dämons*. Unter dieser (von E. H. Du Bois-Reymond stammenden[16]) Bezeichnung ist die Fiktion einer übermenschlichen Intelligenz verstanden, die – unter der für ein mechanistisches Weltbild charakteristischen Annahme eines stabilen, abgeschlossenen und in allen Abläufen determinierten Systems – alle Anfangsbedingungen möglicher Bewegungsabläufe kennt und daher den Ort jedes Partikels zu jedem Zeitpunkt vorauszusagen vermag. Nun sind aber Systeme der Quantenmechanik – im Unterschied etwa zur relativistischen Physik, deren Differentialgleichungen hinsichtlich ihrer Zustandsgrössen von vornherein deterministische Systeme beschreiben – hinsichtlich Orts- und Impulsgrössen nicht deterministisch, sondern statistisch, d.h. auch durch einen Laplaceschen Dämon nicht mehr berechenbar. Dieser wäre also durch die neuere Entwicklung der Physik ausser Dienst gestellt. Mit anderen Worten: Auch unter Voraussetzung strenger Gesetzmässigkeit gibt es das Phänomen der Nichtvoraussagbarkeit, d.h., in unserem Kontext, prinzipielle Grenzen des Wissens. Nur sind diese von anderer Art als die der grossen Debatte um Grenzen des Wissens zugrundeliegenden. Theoretische oder epistemische Grenzenlosigkeit im Allgemeinen verträgt sich durchaus mit faktischer epistemischer Begrenztheit im Besonderen.

4. Ökonomische und ethische Grenzen

Neben den am Beispiel des Verhältnisses zwischen Determinismus und Voraussagbarkeit erläuterten epistemischen Grenzen des (wissenschaftlichen) Wissens, die etwas mit prinzipiellen Problemen der Voraussagbarkeit von Systementwicklungen zu tun haben, gibt es noch Grenzen ganz anderer Art, nämlich ökonomische und ethische Grenzen.

Ökonomische Grenzen – das sind ganz einfach Grenzen der Finanzierbarkeit. Schon lange reichen die Mittel nicht mehr aus, um der Wissenschaft zu geben, was diese zur Realisierung ihrer Vorhaben, auch solcher, die wesentliche Einsichten versprechen, verlangt. Das hat auch etwas mit immer höheren Aufwendungen für immer kleinere Schritte zu tun, d.h. mit dem in der Wissenschaftstheorie als «Plancksches Prinzip des wachsenden Aufwands» bezeichneten[17] Umstand, dass um so mehr Mittel eingesetzt werden müssen, je höher der bereits erreichte Forschungsstand ist, um einen weiteren Fortschritt zu erzielen. Man denke dabei nur an den Bau und den Betrieb grosser Beschleuniger in der Physik, die Unsummen verschlingen, um etwa weitere Stellen hinter dem Komma von als bedeutsam erachteten Messgrössen oder Naturkonstanten experimentell zu überprüfen. So hat die Entdeckung des Top-Quarks, des dem Standardmodell der Teilchenphysik nach letzten Quarks, eine Gruppe von 450 Wissenschaftlern aus 35 Instituten ca. 20 Jahre beschäftigt und zig Milliarden verschlungen.

Derartige gewaltige Kosten sind auch der Grund, warum das Projekt des seit 1983 geplanten «Superconducting Super Collider», mit dessen Bau 1991 in Texas begonnen wurde, 1993 durch Beschluss des US-Kongresses wieder eingestellt wurde. Sein Bau hätte nach letzter Schätzung mehr als acht Milliarden Dollar verschlungen. Das gleiche Schicksal wurde Plänen zum Bau eines 100-Meter-OWL-Spiegelteleskops (OverWhelmingly Large Telescope) zuteil, dessen Hauptspiegel aus 3048 hexagonalen Segmenten sowie einem Sekundärspiegel mit 216 Segmenten hätte bestehen sollen und dessen Kosten mit bis zu 55 Milliarden Euro errechnet wurden. Nun will man sich mit einer kleineren Version, genannt EELT (European Extremely Large Telescope), mit einer Öffnung zwischen 30 und 60 Metern zufriedengeben. Bei all dem stellt sich nicht nur ganz generell die Frage nach der Finanzierbarkeit derartiger Forschungsgeräte, sondern auch die Frage nach dem Grenznutzen einer solchen Investition, eine Frage, die auch durch den Hinweis auf Gewährleistung der For-

schungsfreiheit nicht beseitegeschoben werden darf. Vielmehr trifft auch auf die Wissenschaft der allgemeine ökonomische Grundsatz zu, dass sich der Fortschritt selbst begrenzt, wenn seine Kosten schneller wachsen als die von ihm erwarteten Erträge.

Eine andere Begrenzung, der sich auch die Wissenschaft nicht entziehen kann, sind *ethische* Grenzen. Dass es derartige Grenzen gibt, machen heute vor allem Biologie und Medizin deutlich, z.B. im Bereich von Gentechnik und Reproduktionsmedizin. Ethische Fragen stellen sich hier sowohl im Anwendungsfalle (z.B. beim möglichen Klonen) als auch im Zuge der Forschung selbst (z.B. bei der verbrauchenden Forschung an Embryonen). Die allgemeine ethische Frage ist hier stets die, ob wir auch *dürfen*, was wir im Zuge des wissenschaftlichen Fortschritts *können*. Voraussetzung dafür, eine solche Frage zu beantworten, sind wiederum eine *universale Ethik,* die nach dem Beispiel der Ethik Kants über je spezifische Anwendungsformen (z.B. eine Medizin- und eine Bioethik) die wissenschaftliche Praxis erreicht, und ein wissenschaftliches *Ethos*, in dessen Realisierung deutlich wird, dass Wissenschaft nicht nur eine besondere Form der Wissensbildung (eben der wissenschaftlichen Wissensbildung) ist, sondern auch das Medium, in dem sich die Vernunftnatur des Menschen auf besondere Weise zum Ausdruck bringt. In diesem Sinne wäre Wissenschaft, nach Aristoteles, eine höchste Form der Praxis[18] – und als solche, wie alle Praxis, normativ geprägt.

Anders als im Falle der stets auf erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Probleme führenden Frage nach theoretischen oder epistemischen Grenzen der Wissensbildung ist die Frage nach ökonomischen und ethischen Grenzen des (wissenschaftlichen) Wissens im Einzelfall konkret und dann auch im Sinne tatsächlicher Grenzen beantwortbar. Im Falle ökonomischer Grenzen handelt es sich um *faktische* Grenzen (die Ressourcen reichen nicht), im Falle ethischer Grenzen um *normative* Grenzen (das Sollen bzw. Dürfen begrenzt das Können). Dass auch Fragen nach ökonomischen und ethischen Grenzen dabei nicht immer leicht zu beantworten sind, liegt daran, dass im Falle ökonomischer Grenzen Prioritätsentscheidungen getroffen werden müssen – wofür sollen begrenzte Ressourcen eingesetzt werden, wofür nicht? –, im Falle ethischer Grenzen sogleich ein Streit über die «richtige» Ethik entbrennt und sich weltanschauliche Dinge in die wissenschaftlichen und ethischen Dinge mischen. Der Mensch ist eben kein perfektes Wesen, nicht nur in erkenntnistheoretischer, sondern auch in ökonomischer und ethischer Hinsicht.

5. Lob der Unvollkommenheit

1804 kündigt Fichte an, dass er alle Probleme des Wissens, sofern sie die Welt und das Bewusstsein betreffen, gelöst habe: «Der Unterschriebene erbiethet sich zu einem fortgesetzten mündlichen Vortrage der *Wissenschaftslehre*, d.h. der vollständigen Lösung des Räthsels der Welt und des Bewusstseyns mit mathematischer Evidenz.»[19] Weit ist er damit nicht gekommen, wobei das Kuriosum einer derartigen Ankündigung in einer (der Philosophie generell gern unterstellten) Fehleinschätzung der Tragfähigkeit des eigenen Konzepts, nicht in dem deklarierten Ziel philosophischer und wissenschaftlicher Bemühungen liegt. Schliesslich lässt sich auch die moderne Forschung vom Ziel vollständiger Erklärungen leiten, auch wenn diese nicht mehr in einem Kopf, sondern auf den Wegen vieler Köpfe und Disziplinen gesucht werden. Der Suche nach Wissen liegt immer die Idee eines vollständigen Begreifens zugrunde. Wer nur halb verstehen will, versteht gar nichts.

Dem widerspricht auch nicht das fast schon zu einem allgemeinen Kriterium der Wissenschaftlichkeit erhobene Diktum Poppers, dass Falsifizierbarkeit, nicht Verifizierbarkeit den Pfad der wissenschaftlichen Tugend bestimmen sollte.[20] Schliesslich wird auch die empfohlene Methode von Versuch und Irrtum (trial and error) durch ein vernünftiges Interesse an Wahrheit angetrieben und findet denn auch bei Popper selbst im Begriff der Wahrheitsähnlichkeit[21], d.h. im Mass der Übereinstimmung einer Theorie mit der Wahrheit, seinen erkenntnistheoretischen Ausdruck. Dass wir uns auch in der Wissenschaft immer wieder irren, spricht eben nicht nur für den Begriff des Irrtums, sondern auch für den Begriff der Wahrheit: Wo es keine Wahrheit gibt (auch im abgemilderten Sinne einer Idee der Wahrheit bzw. im Begriff der Wahrheitsähnlichkeit), gibt es auch keinen Irrtum.

Bezogen auf die Frage nach Grenzen des Wissens bedeutet dies, dass das Wissen stets als unvollkommen bzw. unvollständig und irrtumsanfällig gelten muss, nicht im Sinne eines Defekts – eine derartige Vorstellung würde ja gerade erreichbare Vollkommenheit bzw. Vollständigkeit in der zuvor unter dem Stichwort Ende der Wissenschaft dargestellten Weise voraussetzen –, sondern im Sinne einer prinzipiellen Offenheit – wir können auch wieder sagen: Grenzenlosigkeit – des wissenschaftlichen Wissens. Damit liegt, paradox formuliert, eben in der (faktischen) Begrenztheit des Wissens, d.h. in seiner Unvollständigkeit und Korrigier-

barkeit, seine (prinzipielle) Unbegrenztheit, im Sinne eines unabschliessbaren Fortschritts des Wissens, beschlossen.

Und hier sei nun noch einmal an unsere Wissenskugel erinnert. Sie schwimmt im All des Nichtwissens und wird beständig grösser, womit auch ihre Berührungspunkte mit dem Nichtwissen zunehmen. Dem Wissen sind keine theoretischen oder epistemischen Grenzen gesetzt. Oder noch anders, nunmehr auch an das über ökonomische und ethische Grenzen Gesagte erinnernd, formuliert: Grenzen der Wissenschaft sind entweder Irrtumsgrenzen – der wissenschaftliche Verstand wird Opfer seiner selbstverschuldeten Unzulänglichkeiten – oder ökonomische Grenzen – der wissenschaftliche Fortschritt wird unbezahlbar – oder ethische Grenzen, die immer dann gegeben sind bzw. gesetzt werden müssen, wenn sich der wissenschaftliche Fortschritt, kurz gesagt, gegen den Menschen selbst richtet, indem er gegen die Geltungsansprüche einer universalen Ethik verstösst – sei es in der Anwendung seiner Resultate, sei es im Zuge des forschenden Handelns selbst. In jedem Falle ist jedes Mass der Wissenschaft, auch dasjenige, das ihrem Fortschreiten (im Ökonomischen wie im Ethischen) Grenzen setzt, ein *praktisches*, kein *theoretisches* Mass. Irrtümer erweisen sich als normal, Ressourcen als endlich, (universale ethische) Normen als zwingend, ohne dass dies mit unüberwindbaren Eigenschaften des Erkenntnisobjekts oder des erkennenden Verstandes zusammenhinge. Das aber bedeutet: die Wissenschaft hat sehr wohl praktische, aber keine theoretischen Grenzen. Wäre es anders, würde sie entweder (im Falle allgemeiner Begrenztheit) zu einer Episode oder (im Falle allgemeiner Grenzenlosigkeit) zu einem Fluch.

Anmerkungen

[1] Die Argumentation folgt in Teilen einem früheren Versuch und führt ihn weiter: J. Mittelstraß, Wissen und Grenzen. Philosophische Studien, Frankfurt/Main 2001, 120–137 (3. Gibt es Grenzen des Wissens?).

[2] D. Diderot, De l'interpretation de la nature (1754), in: D. Diderot, Œuvres complètes, I–XX, ed. J. Assèzat/M. Tourneux, Paris 1875–1877, II, 11 (dt. in: D. Diderot, Philosophische Schriften, I–II, Berlin 1961, Frankfurt 1967, I, 421).

[3] A. Bromley u.a., Physics in Perspective I, Washington D.C. 1972 (National Academy of Science), 80.

[4] « ‹Die Welt ist kalt und unpersönlich›. Nobelpreisträger Steven Weinberg über den Traum von der Weltformel», Der Spiegel Nr. 30, 26.7.1999, 192.

[5] J. Horgan, The End of Science. Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age, Reading Mass. etc. 1996 (dt. An den Grenzen des Wissens. Siegeszug und Dilemma der Naturwissenschaften, München 1997).

[6] Vgl. J. Mittelstraß, Wissen und Grenzen, 125–127.

[7] C. Babbage, On the Economy of Machinery and Manufactures, London [4]1835 (repr. Fairfield NJ 1986), 386 f. (dt. Die Ökonomie der Maschine, Berlin 1999, 280).

[8] J. Bury, The Idea of Progress. An Inquiry into Its Origin and Growth, New York 1932, 1955, 3 f.

[9] Vgl. N. Rescher, Scientific Progress. A Philosophical Essay on the Economics of Research in Natural Science, Oxford 1978, 6 ff. (dt. Wissenschaftlicher Fortschritt. Eine Studie über die Ökonomie der Forschung, Berlin/New York 1982, 7 ff.). Ferner J. D. Barrow, Impossibility. The Limits of Science and the Science of Limits, Oxford 1998, 72 ff. (dt. Die Entdeckung des Unmöglichen. Forschung an den Grenzen des Wissens, Heidelberg/Berlin 2001, 115 ff.).

[10] I. Kant, Prolegomena zu einer jeder künftigen Metaphysik die als Wissenschaft wird auftreten können (1783), § 57 (= Werke in sechs Bänden, Hrsg. W. Weischedel, Frankfurt/Darmstadt 1956–1964, III, 226). Vgl. N. Rescher, The Limits of Science, Berkeley/Los Angeles/London 1984, Pittsburgh Pa. 1999, 12 ff. (dt. Die Grenzen der Wissenschaft, Stuttgart 1985, 86 ff.).

[11] M. Planck, Die Kausalität in der Natur (1932), in: M. Planck, Vorträge und Erinnerungen, Stuttgart [5]1949, 252.

[12] A.a.O., 253.

[13] W. Heisenberg, Über die Grundprinzipien der Quantenmechanik, Forschungen und Fortschritte 83 (1927), 83 (= W. Heisenberg, Gesammelte Werke / Collected Works I, München/Zürich 1984, 21).

[14] Vgl. J. Earman, A Primer on Determinism, Dordrecht etc. 1986.

[15] Vgl. H.G. Schuster, Deterministic Chaos. An Introduction, Weinheim 1984, 2.

[16] Über die Grenzen des Naturerkennens (1872), in: E. H. Du Bois-Reymond, Vorträge über Philosophie und Gesellschaft (Hrsg. S. Wollgast), Hamburg 1974, 56–57.

[17] N. Rescher, Scientific Progress, S. 79–94 (dt. 85–101).

[18] Aristoteles, Eth. Nic. K7.1177a12 ff.

[19] J.G. Fichte, Die Wissenschaftslehre. Zweiter Vortrag im Jahre 1804 vom 16. April bis 8. Juni, Hrsg. R. Lauth/J. Widmann, Hamburg 1975, 2.

[20] K.R. Popper, Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft, Wien 1934, Tübingen [9]1989, 47–59.

[21] K.R. Popper, Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge, London 1963, [5]1989, 215–250, 391–397. Vgl. H. Rott, Wahrheitsähnlichkeit, in: J. Mittelstraß, Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie IV, Stuttgart/Weimar 1996, 588–589.

Ernst Specker[1]

Was ist ein Beweis?

Die Geschichte vom Sultan und den Gelehrten[2]

Es lebte in alter Zeit im Lande Ägypten ein Sultan, ein echtes Vorbild der Gerechtigkeit. Den Armen war er ein Vater, die Gelehrten waren seine Berater. Nur eines bedrückte ihn: Mehr und mehr verlor er das Vertrauen in seinen Wesir. So rief er denn eines Tages die Gelehrten zu sich und sprach: «Ihr Leuchten des Wissens, ich möchte euch eine Frage vorlegen. Wenn jemand mir treu ist, dann weiss ich, dass er mir treu ist. Darf ich daraus den Schluss ziehen: Wenn jemand mir nicht treu ist, dann weiss ich, dass er mir nicht treu ist?» Die Gelehrten schauten sich lange fragend an. Endlich sprach der Älteste: «Erhabener Gebieter, deine Frage bewegt sich an der Grenze unseres Wissens. Gib uns ein Jahr Zeit, wir wollen eine gemeinsame Arbeit über das Wissen schreiben. Mit Allahs Hilfe werden wir deine Frage beantworten.»

Haben die Gelehrten nach einem Jahr dem Sultan ein Manuskript überreicht? Vertrauen wir der mündlichen Überlieferung, so konnten sich die Berater nicht einig werden. Die einen meinten, dass es ihre Aufgabe sei, die grundlegenden Probleme zu klären und erst dann auf die Frage des Sultans einzugehen. Andere wollten von solchen Spitzfindigkeiten nichts wissen. Sie waren überzeugt, dass die allgemein anerkannte Weisheit der Berater zur Begründung eines Entscheides genügte. Im Folgenden sollen Ihnen, verehrte Leserin, verehrter Leser, beide Berichte unterbreitet werden.

Die mathematische Variante verlangt Bereitschaft zu mathematischem Denken. Die amathetische Variante verzichtet auf stringentes Begründen und ist daher bedeutend kürzer. Nach mündlicher Überlieferung lautete sie:

> Die Mathematiker unter uns haben eine Wissenschaft über das Wissen entworfen. Diese neue Wissenschaft ist schwer zu verstehen, und es ist auch nicht sicher, dass die Mathematiker unter «Wissen» dasselbe verstehen wie wir Amathetiker. Unser Rat ist deshalb: Entlassen Sie, verehrter Gebieter, den Wesir. Wenn er Sie nicht von seiner Treue überzeugt, dann ist er nicht vertrauenswürdig. Lassen Sie ihm aber seinen Kopf stehen.

Nun zur mathematischen Variante des Berichtes:

Alexandria wurde nach dem Bombardement im August 1882 den Soldaten zur Plünderung freigegeben. Dabei sind viele Manuskripte zerstört worden. Die folgende Version ist nur eine Rekonstruktion, die auf dem heutigen Wissensstand beruht.

Erhabener Gebieter, wie Proklos uns überliefert, hat Euklid einst zu König Ptolemaios, Ihrem Vorgänger, gesagt: «Es gibt keinen Königsweg zur Mathematik.» Darum soll der Beantwortung Ihrer schwierigen Frage der Beweis des bekannten Satzes «2+2=4» vorangestellt werden, nicht um Zweifel zu beheben, sondern um zuerst einmal zu zeigen, was ein formaler Beweis ist.

***Beweise** sind Texte, Texte sind Zeichenreihen. Der folgende Beweis benutzt die Ziffern 1, 2, 3, 4, das Pluszeichen +, das Gleichheitszeichen = sowie rechte und linke Klammern, nämlich) und (.*

*Gewisse Reihen dieser Zeichen sind **Terme**. Ausgehend von den Termen 1, 2, 3, 4 werden iterativ weitere Terme gebildet, indem zwei Terme durch das Pluszeichen verknüpft und umklammert werden: (1+3), (4+(2+2)), ((3+4)+(1+1)), (1+(2+(3+(4+1)))). Die äussersten Klammern werden meistens weggelassen. Solche Terme werden auch als Rechenaufgaben gestellt, das ist hier aber nicht gemeint.*

***Formeln** werden gebildet aus zwei Termen verknüpft durch ein Gleichheitszeichen, wie zum Beispiel 2+3=4, 3=2+1, (1+1)+(2+3)=4, 2=1+(1+1). Wie diese Beispiele zeigen, können Formeln korrekt oder inkorrekt sein. Zur Herleitung von **korrekten Formeln** steht uns zur Verfügung*