

<b>Zeitschrift:</b>	Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Naturforschende Gesellschaft
<b>Band:</b>	161 (1981)
<b>Artikel:</b>	Ursprung, Grenzen und Zukunft der Naturwissenschaft
<b>Autor:</b>	Stent, Gunther S.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-90840">https://doi.org/10.5169/seals-90840</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 07.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Ursprung, Grenzen und Zukunft der Naturwissenschaft

Gunther S. Stent

Bevor ich mich meinem Thema von Ursprung, Grenzen und Zukunft der Naturwissenschaft zuwende, möchte ich kurz erklären worüber ich nicht sprechen werde. Ich beabsichtige nicht, die wirtschaftlichen Grenzen der Naturwissenschaft zu erwägen, die dadurch entstehen, dass die Forschung immer teurer wird. Noch habe ich vor, die rein physikalischen Grenzen zu besprechen, die unserer Kenntnis des Weltalls oder der Materie prinzipielle Schranken setzen, wie die Lichtgeschwindigkeit oder die praktisch maximal mögliche Beschleunigung von Elementarteilchen. Auch werde ich nicht die sozialen und politischen Grenzen erwähnen, die durch das nicht vollkommen unbegründete Aufblühen von Anti-Szientismus in technologisch hoch entwickelten Ländern heute offensichtlich sind. Statt dieser praktischen Grenzen möchte ich drei kognitive Grenzen der Naturwissenschaft erörtern, die in diesem Jahrhundert zu Tage gefördert wurden: eine semantische Grenze, eine strukturelle Grenze, und eine subjektive Grenze. Da das Bestehen dieser Grenzen dem Fortschritt der Forschung Schranken setzt, ist es wahrscheinlich, dass die Naturwissenschaft der Zukunft anders sein wird als die Naturwissenschaft der Vergangenheit.

## Naturwissenschaft und Wahrheit

Zu Anfang meiner Ausführungen möchte ich die für mein Thema grundlegenden Begriffe «Naturwissenschaft» und «Wahrheit» erläutern. Eine gründliche Erläuterung dieser Begriffe wäre jedoch schon allein ein stundenfüllendes Programm, und daher werde ich im Rahmen dieses Symposiums über den Ursprung der Dinge ganz einfach behaupten, dass die Naturwissenschaft eine Tätigkeit ist, die das Ziel hat, den Zusammenhang der Dinge darzustellen. Mit dieser Tätigkeit

versuchen wir, die Welt zu verstehen und Macht über ihre Dinge auszuüben. Selbstverständlich gibt es auch andere Tätigkeiten, die eine der Naturwissenschaft ganz ähnliche Rolle spielen, wie zum Beispiel die Religion oder die Magie. Diese werden zwar gewöhnlich als von der Naturwissenschaft grundsätzlich verschieden angesehen. Aber das Errichten einer scharfen Demarkationslinie zwischen Naturwissenschaft und Nicht-Naturwissenschaft ist ebenfalls ein philosophisch schwieriges Problem, mit dem ich hier nicht ringen möchte. Ich werde also davon absehen zu klären, in welchem Sinne die Astronomie sehr wohl und die Astrologie mitnichten eine Naturwissenschaft ist. Unerlässlich ist jedoch der Hinweis, dass die Naturwissenschaft eine semantische Tätigkeit ist, insofern, als es ihr Zweck ist, Darstellungen mit einem sinnvollen Inhalt mitzuteilen.

Was bedeutet es zu sagen, dass ein dargestellter Zusammenhang der Dinge, also eine naturwissenschaftliche Theorie, wahr ist? Hier verkürze ich abermals die eigentlich notwendige stundenlange Diskussion und behaupte einfach, dass eine Darstellung für mich wahr ist, sofern sie mit meinem Weltbild im Einklang ist und meine Zustimmung gebietet. Diese Auslegung des Wahrheitsbegriffes ist offensichtlich keine objektive, sondern eine subjektive. Sie führt zum Begriff der objektiven Wahrheit nur dadurch, dass ich davon überzeugt bin, dass die für mich wahre Darstellung auch die Zustimmung jeder anderen, für dieses Urteil qualifizierten Person gebieten würde. Das Ideal der absolut objektiven Wahrheit wird auf diesem Weg nur erreicht, wenn auch Gott der Darstellung zustimmt.

Wie kann eine naturwissenschaftliche Theorie Zustimmung gebieten? Vor allem, indem sie eine einleuchtende Antwort auf eine «warum?» Frage über den Zusammenhang

der Dinge liefert, und weiter, indem durch diese Theorie vorausgesagte Ereignisse tatsächlich eintreffen und sie bestätigen. Auch kann die Antwort auf eine theoretische «warum?» Frage manchmal zu einer Antwort auf eine praktische «wie?» Frage über die Dinge führen. Die uns dadurch verfügbare Macht kann als eine weitere Bestätigung der Theorie gelten. Jedoch ist auch die Frage der Verifizierung naturwissenschaftlicher Theorien unter Philosophen sehr umstritten. So wird beispielsweise oft argumentiert, dass die Wahrheit einer Theorie überhaupt nicht durch eine endliche Anzahl von Beobachtungen zu beweisen ist. Dessen ungeachtet muss ein praktizierender Wissenschaftler immerhin daran glauben, dass er sich dem Beweis der Wahrheit einer naturwissenschaftlichen Theorie wenigstens annähern kann. Denn wie könnte er sonst sein Leben damit zubringen, den Zusammenhang der Dinge zu verstehen, wenn er nicht überzeugt wäre, dass seine Anstrengungen beweisbare Wahrheiten hervorbringen?

## Intuitive Begriffe

Nachdem ich Ihnen den Naturwissenschaftler als einen Darsteller des Zusammenhangs der Dinge vorgestellt habe, möchte ich mich nun den kognitiven Grundlagen der Naturwissenschaft zuwenden, der Frage also, wie der menschliche Verstand überhaupt zu einer Darstellung der Welt gelangen kann. Die Empiristen des späten siebzehnten und frühen achtzehnten Jahrhunderts behaupteten, dass der Verstand bei Geburt eine leere Tafel ist, auf der sich mehrende Erfahrungen allmählich ein Bild der Welt skizzieren. Dieses Bild ist geordnet oder strukturiert, weil wir Regelmäßigkeiten in unseren Erfahrungen mit Hilfe des Prinzips der logischen Induktion erkennen und Ereignisse, die wiederholt zusammen auftreten, kausal verbinden. Jedoch wusste schon David Hume, einer der hervorragendsten Vertreter des Empirismus, dass diese Auffassung an einem logischen Fehler Schiffbruch erleidet. Denn die Gültigkeit der Induktion, die ja die Grundlage unserer kausalen Verbindung beobachteter Ereignisse sein soll, kann weder logisch noch durch Erfahrung bewiesen werden. Das Vertrauen auf die Induktion und der Glaube

an den kausalen Zusammenhang zwischen Ereignissen entsteht intuitiv und kann nicht aus der Erfahrung gefolgert werden.

Wenige Jahre nach Hume zeigte Immanuel Kant, dass die empiristische Lehre auf einer unzureichenden Einsicht in das Wesen der Vernunft beruht. Kant wies darauf hin, dass Sinneswahrnehmungen überhaupt nur dann Erfahrung werden, das heisst, sinnvoll werden, wenn sie mittels apriorischer intuitiver Begriffe wie Zeit, Raum und Objekt gedeutet werden. Andere intuitive Begriffe wie der kausale Zusammenhang von Ereignissen erlauben uns den Aufbau aus der Erfahrung von einem Bild der Welt der Dinge. Und mit diesem Weltbild ist auch der Begriff der Wahrheit verbunden, mein intuitiver Glaube also, dass die Dinge tatsächlich so sind wie ich sie mir eingebildet habe.

Aber wie ist es möglich, dass, wenn wir Begriffe a priori zu unseren Sinneswahrnehmungen bringen, jene Begriffe so ausgezeichnet auf die Dinge der Welt passen? Angeichts der Unzahl unpassender Begriffe, die wir uns vor jeglicher Erfahrung ausdenken könnten, scheint es schlicht ein Wunder zu sein, dass unsere intuitiven Begriffe ausgezeichnet die Passenden sind. Konrad Lorenz erkannte vor rund 40 Jahren, dass dieser scheinbar wundersame Umstand leicht von der Evolutionslehre erklärt werden kann. Unser Gehirn ist ja das Ergebnis der natürlichen Selektion unserer fernen Urahnen und kann daher selbstverständlich auch vererbtes, das heisst angeborenes, Wissen über die Welt besitzen, vor jeder persönlichen Erfahrung. Oder, wie Lorenz schrieb, «das Passen des Apriorischen auf die reale Welt ist ebenso wenig aus der ‹Erfahrung› entstanden wie das Passen der Fischflosse auf die Eigenschaften des Wassers».

Obwohl die apriorischen Begriffe Kants daher als Teil unserer biologischen Ausstattung anzusehen sind, sind sie doch nicht in dem Sinn «angeboren», dass sie bereits bei der Geburt im Gehirn gegenwärtig sind. Sie entstehen erst, und das ist der grosse Beitrag Jean Piagets, im Laufe einer kognitiven Entwicklung während der Kindheit. Piaget fand, dass diese Entwicklung eine Folge von klar erkennbaren Stufen durchläuft und durch Wechselwirkungen des Kindes mit seiner Umwelt gesteuert wird. So schreibt das Kleinkind den Dingen in seiner Umgebung

zuerst noch keine konstante Grösse und keine Identität zu. Der Begriff eines Objekts, das Identität und charakteristische Eigenschaften hat, tritt erst in einer späteren Stufe auf. Aus solchen konkreten Begriffen entwickeln sich später die abstrakten sprachlichen, logischen und mathematischen Denkweisen. Zum Beispiel fand Piaget, dass das Kind erst den Gedanken der Invarianz entwickeln muss, ehe es Wörter gebrauchen kann, die sich auf bestimmte Objekte beziehen oder ehe es Zugang zum Begriff der Zahl haben kann. Die abstrakten Kantschen Begriffe von Raum und Zeit erscheinen erst in einer noch späteren Stufe in ihrer reifen Form.

Für meine Ausführungen liegt die Bedeutung von Piagets Entdeckungen in der Einsicht, dass unsere intuitiven Begriffe während der Kindheit jeder normalen Person als Resultat einer genetisch bestimmten Dialektik zwischen dem sich entwickelnden Gehirn und der Kindeswelt entstehen. Daher stellen diese Begriffe eine biologische Tatsache dar, und nicht kontingente oder zufällige Produkte sozialer oder philosophischer Konventionen. Diese Begriffe sind also immanente Eigenschaften menschlicher Vernunft und sie zu erwerben bedeutet, als geistig gesunde Person aufzuwachsen. Aus dieser Einsicht folgt, dass der Homo sapiens schon bei seinem Auftreten vor einigen hunderttausend Jahren das zum Naturwissenschaftler notwendige geistige Rüstzeug besass. Aber erst vor etwa zehntausend Jahren gelang die Zucht von Haustieren und Ernährungsplantzen, wurden Metallurgie, Töpferei und Ziegelei erfunden, die ersten menschlichen Leistungen also, die wir als mit der Naturwissenschaft verwandt anerkennen können.

Die eigentliche Naturwissenschaft begann erst vor ungefähr zweieinhalbtausend Jahren, als die Griechen auf den Gedanken kamen, dass die Natur von einer begrenzten Anzahl von Naturgesetzen regiert werde, die vom Menschen entdeckt werden können und aus denen Antworten auf «warum?» Fragen abzuleiten seien. Damit betrachteten die Griechen die Ereignisse der Natur als unabhängig von menschlichen Gefühlen und stellten den Menschen als Beobachter außerhalb der Natur, obwohl sie nicht leugneten, dass auch er den Naturgesetzen unterworfen ist. Mit der Vorstellung, dass objektive, gesetzmässige Wahrheiten über den Zu-

sammenhang der Dinge existieren, gründeten die Griechen also das Projekt der Naturwissenschaft als Suche nach diesen Wahrheiten. Der raketenartige Aufstieg der modernen Naturwissenschaft nahm dann vor vier Jahrhunderten seinen Anfang mit Galileos Entdeckung, dass Naturgesetze mathematisch ausdrückbar sind. Galileo fand, dass es möglich ist, mathematische Modelle, sozusagen quantitative Bilder der Welt, zu entwickeln, die von genau messbaren Eigenschaften natürlicher Phänomene Rechenschaft geben können.

Ich möchte nun meine bisherigen Ausführungen kurz zusammenfassen: Die Naturwissenschaft bemüht sich Wahrheiten über den Zusammenhang der Dinge darzustellen. Zu diesem Projekt bringt der Naturwissenschaftler seine biologisch begründeten, intuitiven Begriffe mit, mit deren Hilfe er aus Sinneswahrnehmungen Erfahrung gewinnt und aus der Erfahrung sein Weltbild aufbaut. Weiter beruht die Naturwissenschaft auf dem Postulat objektiv wahrer Naturgesetze, die vom menschlichen Verstand, der sie erkennt, unabhängig sein sollten. Dieser Zweck und diese kognitiven Grundlagen bestimmen die Gestalt der Naturwissenschaft, sind aber zugleich auch der tiefste Grund für ihre Grenzen. Im folgenden werde ich versuchen zu erklären, auf welche Weise diese Grundlagen die Begrenztheit der Naturwissenschaft verantworten.

## Kognitive Ungereimtheiten

Am Ende des 19ten Jahrhunderts hatte das von den Griechen begonnene naturwissenschaftliche Projekt unerhört Frucht getragen. So zeigte sich, dass die Natur dem Verstand mit seinen intuitiven Begriffen weitgehend zugänglich ist, und dass man durch die so erreichten Darstellungen enorme Macht über die Dinge ausüben kann. Der hervorragende Dienst, den die griechische Weltanschauung der Technik geleistet hatte, bestätigte in eindrucksvoller Weise ihre Gültigkeit. Gerade zu diesem Zeitpunkt aber brachten weitere Fortschritte in der Erkenntnis der Natur kognitive Ungereimtheiten ans Licht. Es war Niels Bohr, der erkannte, dass diese Ungereimtheiten daraus entstehen,

dass wir auch für naturwissenschaftliche Darstellungen auf die Begriffe der Alltags- sprache angewiesen sind, der Alltagssprache, die wir für die Orientierung in unserer Um- welt und die Organisation unserer Gemein- schaften entwickelt haben. Die Modelle, die die Naturwissenschaft als Erklärung der Welt anbietet, sind also sprachliche Bilder, die mit den aus der Alltagssprache entlehnten Ausdrücken konstruiert sind. Solange nur Phänomene von Dimensionen derselben Größenordnung wie die unserer Alltagserfahrung dargestellt wurden, waren diese Bil- der durchaus zufriedenstellend. Dies änderte sich jedoch, als sich die Physik in subatomare und kosmische Dimensionen hineinwagte. In Bereichen von Raum und Zeit, die millardenfach kleiner und grösser sind als diejenigen unserer unmittelbaren Erfahrung, treten beim Versuch sich mit unseren Sprachmit- teln zu orientieren Schwierigkeiten auf. Es zeigte sich nämlich, dass sprachliche Darstel- lungen von Phänomenen dieses nur mittel- baren Erfahrungsbereichs versteckte Wider- sprüche enthalten. Um diese zu vermeiden, müssen gewisse Voraussetzungen hinter sprachlichen Begriffen, die zu diesen Wider- sprüchen führen, abgeändert werden. Derartige Abänderungen haben jedoch zur Folge, dass der Sinn dieser Begriffe mit der Intuition nicht mehr in vollem Einklang steht.

Die ersten schwerwiegenden Abänderungen von Begriffen der Alltagssprache wurden zu Anfang unseres Jahrhunderts von Albert Einstein zur Entwicklung der Relativitäts- theorie vorgenommen, nachdem er erkannt hatte, dass die experimentell gesicherte Kon- stanz der Lichtgeschwindigkeit nicht mit dem intuitiven Begriff der Zeit vereinbar ist. Die sich aus dieser Tagsache ergebenden Widersprüche entstehen aus der im intuitiven Zeitbegriff verborgenen Voraussetzung, dass der Ablauf der Zeit absolut ist. Um diese Widersprüche zu vermeiden, entfernte Einstein jene Voraussetzung aus dem intuitiven Zeitbegriff und kam somit zum Schluss, dass der Zeitpunkt eines Ereignisses nicht absolut bestimmt ist, sondern vom Bewe- gungszustand des Beobachters abhängt. Es gibt daher nicht nur eine Zeit, sondern für jeden Beobachter die Seine. Einstein löste auch die grundlegende Unabhängigkeit der intuitiven Begriffe von Raum und Zeit auf, deren Entwicklung im Verstand des Kindes

Piaget ja ein vollkommen natürlicher Vor- gang darstellte.

Zwei Jahrzehnte später führte die Entwick- lung der Quantenmechanik zu einer weiteren Erosion der intuitiven Begriffe. Heisenberg's Unbestimmtheitsprinzip zeigte, dass die unvermeidliche Wechselwirkung zwischen Be- obachter und Beobachtetem eine instrumen- tale Grenze der Objektivität setzt mit der Phänomene im dimensionalen Bereich der Atome dargestellt werden können. Auch führte die Quantenmechanik zu dem Schluss, dass wir nicht nur den Ort und den Impuls eines Elektrons nicht mit unendlicher Schärfe messen können, sondern auch, dass das Elektron überhaupt an keinem bestimm- ten Ort ist und keinen bestimmten Impuls hat. Daher entspricht das Elektron nicht mehr vollkommen dem intuitiven Begriff eines Objektes, das zu einer gegebenen Zeit nur an einem Ort sein und sich nur in einer Weise bewegen sollte. Der Quantenmecha- nik grösste Verletzung der Intuition ist wahrscheinlich ihre Behauptung, das die Dyna- mik des Elektrons nicht den kausalen Ver- bindungen unterworfen ist, durch die die Ereignisse der Alltagswelt zusammenhängen. Ereignisse der Welt der Atome hängen nur durch probabilistische, indeterminierte Ge- setzmässigkeiten zusammen. Einstein wei- gerte sich, dieser Behauptung stattzugeben, denn er wollte nicht daran glauben, dass Gott mit der Welt Würfel spielt.

In den zwei Jahrzehnten seit Bohr's Tod machte die Kernphysik weitere Siebenmeil- lenschritte im Marsch der begrifflichen Ent- fremdung der Naturwissenschaft. Während den Elementarteilchen der Quantenmecha- nik – Elektronen, Protonen und Neutronen – bereits Eigenschaften zugeschrieben wurden, die mit den intuitiven Begriffen von Raum, Zeit, Objekt, und Kausalität nicht mehr im vollen Einklang waren, hatte doch der tech- nische Sinn der Wörter, wie Masse, Ladung und Spin, mit denen diese Eigenschaften beschrieben wurden, noch einiges gemein- sam mit dem Alltagssinn. Jedoch mit der Entwicklung der Theorie der «Quark» Teil- chen, oder der sogenannten «Chromodynamik», trat ein Sprachgebrauch in die Physik ein, der, obwohl er von Wörtern der (englischen) Alltagssprache, wie «up», «down», «strange» und «charm», Gebrauch macht, diese Wörter nicht mehr metaphorisch be-

nützt. Hier haben «up», «down», «strange» und «charm» nichts mit «oben», «unten», «seltsam» und «Zauber» zu tun und können daher keinerlei bildliche Vorstellung erwecken. Offensichtlich sind die so benannten Eigenschaften der Quarks rein formale, semantisch sinnlose Symbole, die sich nicht auf die Welt beziehen.

Nun können wir uns aber fragen, in wie fern die zeitgenössische Kernphysik eigentlich noch Naturwissenschaft ist. In welcher Hinsicht können die Darstellungen der Chromodynamik der Quark-Teilchen überhaupt als «wahr» bezeichnet werden? Wie können sie meine Zustimmung gebieten, wenn sie mir nicht erlauben, mir ein Bild zu machen, das ich mit meinem Weltbild in Einklang bringen kann? Ist der Zweck dieser Theorien noch die Darstellung gesetzmässiger Zusammenhänge zwischen Ereignissen einer realen Welt der Dinge oder sollen sie nur Ergebnisse von hochgezüchteten Experimenten voraussagen? Ist es möglich, dass die Theorien der Chromodynamik unsere Macht über die Dinge erweitern und Antworten auf praktische «wie?» Fragen liefern, selbst wenn sie nicht zu greifbaren Bildern und sinnvollen Antworten auf theoretische «warum?» Fragen führen? Offenbar treffen wir hier auf eine der wichtigsten Kernfragen für die Zukunft der Naturwissenschaft.

Um diesen Abschnitt meiner Ausführungen kurz zusammenzufassen weise ich nochmals darauf hin, dass die Naturwissenschaft, in den zweieinhalbtausend Jahren seit ihrem Stapellauf in Griechenland, einen triumphalen Aufstieg machte. Sie zeigte, dass die Natur dem Verstand mit seinen intuitiven Begriffen weitgehend zugänglich ist, und sie lieferte uns umfassende Macht über die Dinge. Dann aber, anfangs unseres Jahrhunderts, brachte der Fortschritt in der Physik plötzlich kognitive Ungereimtheiten ans Licht, die es nötig machten, unsere intuitiven Begriffe abzuändern. Die von der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik geforderten Abänderungen näherten die Naturwissenschaft einer Grenze, die dann von der Chromodynamik überschritten wurde. Diese Grenze ist eine semantische Grenze, jenseits derer die Welt nicht mehr mit unseren intuitiven Begriffen in Bildern verstanden werden kann. Es ist fraglich, ob Naturwissenschaft jenseits dieser Grenze überhaupt noch die

Darstellung gesetzmässiger Zusammenhänge zwischen realen Ereignissen ist oder lediglich ein Formalismus, der im Stande ist, Ergebnisse von Experimenten vorauszusagen. Sollte es sich dennoch herausstellen, dass die Chromodynamik tatsächlich praktische Folgen hat, so wie uns die Relativitätstheorie und die Quantenmechanik das Atom als eine praktische Energiequelle erschlossen, dann wäre das in meinen Augen ein echtes Wunder, das man nicht so einfach mit Argumenten über die natürliche Selektion des Gehirns vom Homo sapiens vom Tisch fegen könnte.

## **Indeterminismus der zweiten Stufe**

Bisher habe ich also versucht, Ihnen zu zeigen, dass sich die Naturwissenschaft einer semantischen Grenze nähert. Nun möchte ich eine zweite Grenze der Naturwissenschaft erörtern, die ebenfalls erst in unserem Jahrhundert in Sicht kam. Diese Grenze wurde in den fünfziger Jahren vom Mathematiker Benoit Mandelbrot erkannt, als er vergeblich versuchte, die Schwankungen des Baumwollpreises statistisch zu erfassen. Die Schwierigkeiten, denen er im Laufe dieser Arbeit begegnete, veranlassten Mandelbrot, ein erkenntnistheoretisches Argument zu entwickeln, das sein Scheitern erklären sollte. Dieses Argument ist nicht nur auf die Nationalökonomie anwendbar, sondern hat allgemeine Gültigkeit für die Suche nach Antworten auf «warum?» Fragen. Zur Entwicklung von Mandelbrots Argument bemerken wir zuerst einmal, dass die Naturwissenschaft ein statistisches Unterfangen ist. Der Naturwissenschaftler sucht immer nach einem gemeinsamen Nenner, oder einer Struktur in der Gesamtheit von Ereignissen, an denen er interessiert ist. Sobald er glaubt, eine solche Struktur erkannt zu haben, vermutet er, dass die Ereignisse zusammenhängen, und versucht ein Gesetz zu finden, das die Ursache dieses Zusammenhangs erklärt. Um ursächlichen Zusammenhängen auf die Spur zu kommen, ist der Naturwissenschaftler also auf eine Mehrzahl von ähnlichen oder verwandten Ereignissen angewiesen. Ein einzigartiges Ereignis, oder wenigstens der Aspekt von dem aus gesehen das Ereignis einzigartig ist, ist einer solchen Untersuchung nicht zu-

gänglich und kann daher nicht der Gegenstand einer naturwissenschaftlichen Theorie sein. Einzigartige Ereignisse sind zufällig, an ihnen ist nichts zu erklären, und der Beobachter nimmt sie als Rauschen wahr. Da aber jedes wirkliche Ereignis etwas einzigartiges an sich hat, ist in jedem wirklichen Phänomen Rauschen zugegen, und es ist die Aufgabe jeglicher naturwissenschaftlichen Untersuchung, die sinnvolle Struktur eines Phänomens vor diesem Hintergrundrauschen zu erkennen. Je kleiner der Anteil von Einzigartigkeit an den Ereignissen, aus denen ein Phänomen besteht, desto rauschärmer ist es und desto verlässlicher kann seine Struktur erkannt werden. Fast alle Phänomene, die bis vor ungefähr hundert Jahren erklärt wurden, sind verhältnismässig rauschfrei. Derartige Phänomene können durch deterministische Theorien erklärt werden, die sich dadurch auszeichnen, dass ein gewisser Ausgangszustand nur zu einem einzigen Endzustand führen kann. Erst gegen Ende des neunzehnten Jahrhunderts wurden statistische Methoden zur Analyse vormals unergründlicher, rauschreicher Phänomene herangezogen. Aus der statistischen Behandlung ergaben sich indeterministische Theorien, zum Beispiel die kinetische Gastheorie und die statistische Thermodynamik. Eine indeterministische Theorie erlaubt, dass ein gewisser Ausgangszustand zu mehreren alternativen Endzuständen führen kann, und bestimmt lediglich die Wahrscheinlichkeit, mit der die alternativen Endzustände eintreten werden.

Mandelbrot behauptet nun, dass viele der rauschreichen Phänomene, die sich noch immer einer erfolgreichen theoretischen Analyse entziehen, nicht nur für deterministische Theorien, sondern auch für die gewöhnlichen indeterministischen Theorien der sogenannten «ersten Stufe», unzugänglich sind. Diese Phänomene kennzeichnen vielmehr einen «Indeterminismus der zweiten Stufe». Das Kriterium, das laut Mandelbrot indeterministische Phänomene der ersten Stufe von denen der zweiten Stufe unterscheidet, ist der statistische Charakter ihrer spontanen Aktivität, das heißt des sie begleitenden Rauschens. Die Energie einzelner Gasmoleküle zum Beispiel, unterliegt grossen Schwankungen, während die durchschnittliche kinetische Energie einer steigenden An-

zahl von Molekülen rasch auf einen Grenzwert konvergiert. Es gibt jedoch viele Phänomene, die eine spontane Aktivität haben, die ganz anders verteilt ist und für die es bisher nicht möglich war, erfolgreiche Theorien zu entwickeln. In diesen Fällen konvergiert der Durchschnitt einer Reihe von Messwerten nicht oder nur sehr langsam auf einen Grenzwert. Für derartige Phänomene, so behauptet Mandelbrot, kann sich der Beobachter nur sehr schwer davon überzeugen, ob eine wahrgenommene Struktur real oder nur ein Stück seiner Einbildung ist.

Statistische Verteilungen dieser Art werden «Pareto» Verteilungen genannt nach dem italienischen Ökonom der Jahrhundertwende, der sie erstmals in der Verteilung von Einkommen fand. Wie sich herausstellte, ist die spontane Aktivität vieler geographischer, meteorologischer und astronomischer Phänomene durch Pareto Verteilungen gekennzeichnet. Die Anzahl vergleichbarer Ereignisse, die dem Forscher verfügbar sind, ist daher meist zu klein um ursächliche Zusammenhänge erkennen zu können. Daher ist das Wahrnehmen von Strukturen in diesen Phänomenen keine Garantie dafür, dass sie nicht durch Zufall entstanden sind, so wie zum Beispiel eine Wolke, in der wir ein uns bekanntes Gesicht wahrnehmen, ein Produkt des Zufalls ist.

Der Indeterminismus der zweiten Stufe erklärt das offensichtliche Manko von erfolgreichen Theorien in den Sozialwissenschaften, wie Ökonomie und Soziologie, die in dieser Hinsicht weit hinter den Erfolgen der Naturwissenschaft zurückbleiben. Im Gegensatz zur Naturwissenschaft sind in den Sozialwissenschaften die interessanten Phänomene, die es quantitativ zu erfassen gilt, überwiegend im Nebel der Pareto Verteilungen verhüllt. Daher ist ein baldiges Aufblühen der Sozialwissenschaften leider nicht zu erwarten, obwohl wir doch gerade ihre Antworten auf «warum?» und «wie?» Fragen so dringend nötig hätten. An der Mehrzahl ihrer Theorien wird notwendigerweise der jede praktische Möglichkeit der Verifizierung ausschliessende Indeterminismus der zweiten Stufe haften bleiben.

Lassen Sie mich zusammenfassen: Viele bisher ungeklärte Phänomene, vor allem in den Sozialwissenschaften, sind dadurch gekennzeichnet, dass ihre ursächlich zusammenhän-

genden Aspekte unter einer grossen Zahl zufälliger, das heisst rauschartiger Aspekte verborgen sind. Die Anzahl vergleichbarer Ereignisse, die für Untersuchungen solcher Phänomene verfügbar sind, ist dann viel zu gering, um eine zweifelsfreie Unterscheidung zufälliger und ursächlicher Aspekte zu erlauben. Dies hat zur Folge, dass wissenschaftliche Theorien solcher Phänomene nur in einem sehr beschränkten Ausmass fähig sind, Zustimmung zu gebieten, das heisst, Anspruch auf Wahrheit zu erheben. Wir stossen hier also auf eine weitere Grenze der Naturwissenschaft, eine Grenze die ich eine strukturelle Grenze nennen möchte, da sie aus der Struktur gewisser komplexer Forschungsgegenstände erwächst.

## Hermeneutik

Nach meiner Erörterung einer semantischen und einer strukturellen Grenze der Naturwissenschaft möchte ich schliesslich eine dritte kognitive Grenze zur Diskussion stellen. Diese Grenze ist den Geisteswissenschaften schon lange unter dem Namen «Hermeneutik» bekannt. Der Name wurde ursprünglich von Theologen auf die Deutung der Heiligen Schrift angewendet und ist hergeleitet von Hermes, dem Götterboten. Hermes, in seiner Eigenschaft als Informationskanal, der Götter und Sterbliche verbindet, interpretiert oder macht explizit den Sinn, der in den göttlichen Botschaften verborgen oder lediglich implizit enthalten ist. Der wahrscheinlich wichtigste Beitrag der Hermeneutik ist ihre Einsicht, dass verborgener Sinn eine Schwierigkeit für die Interpretation von Texten darstellt. Denn es ist notwendig den Kontext zu verstehen, in dem der ganze Text eingebettet ist, ehe die Möglichkeit besteht, verborgenen Sinn in irgend einem seiner Teile aufzudecken. Hier stehen wir vor einem logischen Dilemma, dem hermeneutischen Kreis. Einerseits machen die Wörter und Sätze, aus denen der Text aufgebaut ist, keinen Sinn, bevor man den Sinn des ganzen Textes kennt. Andererseits kann man aber zu dem Sinn des ganzen Textes nur durch das Verstehen seiner Teile kommen. Um diesen Kreis zu sprengen, ruft die Hermeneutik den Begriff des Vorverständnisses zur Hilfe. Vorverständnis ist die Sum-

me der Erfahrungen und Einsichten, die der Deuter von Anfang an zur Interpretation des Textes mitbringt und die es ihm erlauben, den Sinn des Ganzen intuitiv zu erfassen. Insofern als die Hermeneutik eine Wissenschaft darstellt, können wir fragen, ob ihre Interpretationen objektive Gültigkeit beanspruchen können. Eine objektiv gültige Interpretation müsste den im Text verborgenen «wahren» Sinn explizit gemacht haben. Aber da das vom Interpreten dem Text entgegengebrachte Vorverständnis von seinem höchst eigenen historischen, sozialen, und psychologischen Hintergrund abhängt, ist seine Interpretation notwendigerweise subjektiv. Daher kann eine Interpretation nicht objektiv «wahr» sein, und sie kann Zustimmung nur in einem Personenkreis gebieten, dessen Mitglieder das gleiche Vorverständnis mitbringen. Hinsichtlich der Unmöglichkeit von allgemein, ewig gültigen Wahrheiten in der Interpretation von Texten, unterscheidet sich die Hermeneutik offensichtlich von der von den Griechen konzipierten Naturwissenschaft und ihrem Ideal der objektiven Wahrheiten in der Interpretation von der Natur. Aber gerade diese ideale Auffassung der Naturwissenschaft wird von manchen zeitgenössischen Philosophen zurückgewiesen. Sie behaupten, dass auch der Naturwissenschaftler sein subjektives Vorverständnis zur Interpretation der Welt der Dinge mitbringe und dass daher auch die Naturwissenschaft keine objektiven Wahrheiten zu Tage fördern könne. Dennoch, selbst wenn wir dieser Ansicht stattgeben, bleibt doch die Tatsache bestehen, dass manche naturwissenschaftlichen Darstellungen von weniger Vorverständnis abhängen, und daher relativ höhere objektive Gültigkeit haben, als andere. So können wir den Grad der objektiven Gültigkeit einer wissenschaftlichen Darstellung abschätzen, wenn wir das Ausmass feststellen, in dem Vorverständnis eine Rolle in ihrer Entwicklung gespielt hat. Eine solche Abschätzung zeigt, warum der Glaube an die Möglichkeit von objektiv gültigen Darstellungen wenigstens in den «harten» Naturwissenschaftszweigen, wie der Physik, mehr berechtigt ist, als in den «weichen» Human- und Sozialwissenschaften, wie der Psychologie, der Ökonomie, und der Soziologie. Eine der Hauptursachen für diesen Unterschied im Gültigkeitsanspruch, das

heisst in der Fähigkeit, Zustimmung zu gebieten, ist, dass die Phänomene, die die «weichen» Wissenschaften zu erklären versuchen, von höherer Komplexität sind als die Phänomene, mit denen sich die «harten» Wissenschaften befassen.

Als zwei extreme Beispiele – das eine sehr hart und das andere sehr weich – können wir die Mechanik und die Psychoanalyse vergleichen. Die Theorien der Mechanik überzeugen uns von ihrer objektiven Wahrheit, weil die für die Mechanik bedeutungsvollen Phänomene, wie Stahlkugeln die einen Abhang herunterrollen, von geringer Komplexität sind. Es ist ohne viel Vorverständnis möglich, dieses Phänomen in seine wesentlichen Bestandteile – Stahlkugel und Abhang – zu zerlegen, die von den kausalen Verbindungen der Theorie bestimmt werden. Zur Verifizierung der Theorie können dann kritische Beobachtungen und Experimente – mit verschiedenartigen Abhängen und Kugeln – angeführt werden. Im Gegensatz zur Mechanik fehlt den Theorien der Psychoanalyse die Überzeugungskraft objektiver Wahrheiten, weil die Phänomene der Psyche außerordentlich komplex sind. Ohne weitgehendes Vorverständnis kann der Psychoanalytiker überhaupt keine Strukturen erkennen, geschweige denn das Phänomen des Analysanden in seine wesentlichen, kausal zusammenhängenden Bestandteile zerlegen. Von kritischen Beobachtungen oder Experimenten kann hier keine Rede sein, weil es fast immer möglich ist, das Nichteintreffen einer von psychoanalytischen Theorien abgeleiteten Voraussage wegzuerklären, indem man sein Vorverständnis des Phänomens einfach ändert. Psychoanalytische Theorien sind daher kaum zu verifizieren, weshalb manche Naturwissenschaftler der Psychoanalyse schlichtweg den Anspruch verweigern – meiner Ansicht nach unberechtigterweise – überhaupt ein Wissenschaftszweig zu sein.

Die Neurobiologie, über die David Hubel hier gerade berichtet hat und die auch mein eigener Forschungsbereich ist, überspannt einen weiten Bereich auf dieser «hart-weich» Skala der Naturwissenschaft. An ihrem harten Ende ist die Neurobiologie durch elektrophysiologische, anatomische, und biochemische Untersuchungen von Nervenzellen vertreten. Obwohl die mit Nervenzellen verbundenen Phänomene schon komplexer sind

als rollende Stahlkugeln, können die Beobachtungen immer noch mit Theorien erklärt werden, die überzeugenden Beweisen unterliegen. Aber an ihrem weichen und für die Mehrzahl unserer Kollegen reizvoller Enden ist die Neurobiologie mit systemanalytischen Untersuchungen der Struktur und Funktion grosser und sehr komplizierter Nervenzellnetze befasst. Und die mit diesen Netzen verbundenen Phänomene sind annähernd so komplex wie die Psyche selbst, ja sie schliessen die Psyche sogar ein. Daher nimmt die Neurobiologie an ihrem weichen Ende den Charakter der Hermeneutik an: zur Analyse eines komplexen Nervenzellennetzes muss der Forscher erhebliches Vorverständnis der Ganzheit des Systems mitbringen, ehe er versuchen kann, die Funktion eines Teils des Systems zu deuten. Und so wird auch zukünftigen Versuchen, die komplexe Arbeitsweise des Gehirns zu erklären, der Anschein objektiver Wahrheit weitgehend fehlen.

Zusammenfassend können wir über die Hermeneutik sagen, dass die von ihr erkannte, unabkömmliche Rolle von subjektivem Vorverständnis nicht nur der Interpretation von Texten, sondern auch der Interpretation der Natur eine Grenze setzt, die ich eine subjektive Grenze nennen möchte. Der hermeneutische Begriff des Vorverständnisses erlaubt auch eine einleuchtende Erklärung für den augenscheinlichen Unterschied zwischen «harten» Wissenschaften, die sich mit Phänomenen geringer Komplexität befassen und zu Theorien grosser Überzeugungskraft führen, und den «weichen» Wissenschaften, die Phänomene grosser Komplexität zum Gegenstand haben und zu Theorien führen, die kaum fähig sind, allgemeine Zustimmung zu gebieten.

## Coda

Ich schliesse meine Ausführungen von Ursprung, Grenze und Zukunft der Naturwissenschaft, indem ich nochmals daran erinneere, dass die Naturwissenschaft eine semantische Tätigkeit ist, die das Ziel hat, Wahrheiten über gesetzmässige Zusammenhänge zwischen Dingen der Welt darzustellen. Die Naturwissenschaft bemüht sich daher, Antworten auf theoretische «warum» Fragen zu

finden, die ihrerseits zu Antworten auf praktische «wie?» Fragen führen können. Die durch Antworten auf «wie?» Fragen erweiterte Macht über die Dinge stellt eine von jeder Logik unabhängige, ontologische Bestätigung der Wahrheit auf «warum?» Fragen dar. Dieser, von mir hier viel zu kurz skizzierte Frage und Antwort Vorgang, beruht auf intuitiven Begriffen, die wir im Laufe einer biologisch gegebenen, kognitiven Entwicklung in unserer Kindheit erwerben. Mit dieser begrifflichen Ausrüstung wurde das von den Griechen konzipierte Projekt der Naturwissenschaft mit enormem Erfolg vorangetrieben, und Ende des neunzehnten Jahrhunderts war es klar, dass die Natur diesen Begriffen nicht nur zugänglich ist, sondern dass der Mensch durch die auf diesem Weg erhaltenen Einsichten auch umfassende Macht über sie ausüben kann. Als sich jedoch in unserem zwanzigsten Jahrhundert die Naturwissenschaft anschickte, die Geheimnisse der Natur bis in die Tiefe der Nacht zu verfolgen, stiess sie auf kognitive Grenzen. Drei Grenzen habe ich hier besprochen. Die erste ist eine semantische Grenze, auf die wir in Bereichen stossen, die weit ausserhalb unserer unmittelbaren Erfahrung liegen. Dort versagt unsere Fähigkeit, die Welt in sprachlichen Bildern darzustellen, die wir mit unserem intuitiven Weltbild in Einklang bringen können. In diesen entfernten Bereichen wird uns daher die Erkenntnis dessen, was wir Wahrheit nennen, versagt bleiben.

Die zweite kognitive Grenze ist eine strukturelle, die auf dem undurchsichtigen statistischen Charakter vieler, bisher noch ungeklärter Phänomene beruht. Bei diesen Phänomenen können wir uns nur schwer überzeugen, dass eine wahrgenommene Struktur überhaupt ein Bestandteil der Wirklichkeit und nicht lediglich ein Produkt unserer Einbildung ist. Die dritte kognitive Grenze ist eine subjektive, und sie entsteht dadurch, dass wir bei der Darstellung eines komplexen Phänomens weitgehend auf subjektives Vorverständnis angewiesen sind.

Wir können daher erkennen, dass sich die Naturwissenschaft, unabhängig von wirtschaftlichen, physikalischen, sozialen oder politischen Grenzen, rein kognitiven Grenzen nähert. Einerseits hat die Naturwissenschaft unsere intuitiven Begriffe, mit denen wir die Welt erfassen, abgeändert und einen semantisch immer sinnloser werdenden Sprachgebrauch eingeführt. Anderseits sind Zweifel aufgetreten, ob die Strukturen überhaupt existieren, die wir in den bisher noch nicht erfolgreich behandelten, komplexen Phänomenen wahrzunehmen glauben. Sehr viel hat die Naturwissenschaft schon geschafft, und sehr viel müsste sie noch schaffen. Aber was für einen Sinn wird sie haben?

Ich danke Jochen Braun für anregende Diskussionen und Hilfe bei der Redaktion des deutschen Textes.

## Literatur

In den folgenden Veröffentlichungen des Autors sind die hier erörterten Themen eingehender besprochen:

- Stent, G.S. 1978: Paradoxes of Progress, San Francisco. W.H. Freeman & Co., 23 pp.  
— 1979: Science and Morality as Paradoxical Aspects of Reason. In: Knowing and Valuing: The Search for Common Roots, H.T. Engelhardt and D. Callahan, eds. Hastings-on-Hudson, New York. The Hastings Center, pp 79-101.  
— 1979: Does God Play Dice? The Sciences. pp 18-23.  
— 1979: Naturwissenschaft und Ethik als paradoxe Schöpfungen der Vernunft. Naturwissenschaften 66. S. 354-357.  
— 1981: Cerebral Hermeneutics. Journal of Social and Biological Structures 4. pp 107-124.

## Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Gunther S. Stent  
University of California  
Department of Molecular Biology  
Wendell M. Stanley Hall  
Berkeley, CA 94720 (USA)