Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 102 (1984)
Heft: 43

Artikel: Naturwissenschaft und Philosophie - gestern und heute
Autor: Cotti, Piero
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75552

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: 29.01.2026

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

Naturwissenschaft und Philosophie – gestern und heute

Von Piero Cotti, Niedersteinmaur

Eine historische Betrachtung der Entwicklungen von Naturwissenschaft und Philosophie kann vielleicht helfen, das Wesen und die Grenzen dieser Welten bewusst werden zu lassen. Der Autor gibt hierzu einen geschichtlichen Abriss über die irreversible Zunahme des Wissens mit Hilfe naturwissenschaftlicher Experimente und ihren meist zufälligen Entdeckungen. Vor dem Hintergrund des Glaubens führen die Erkenntnisse über die Zusammenhänge messbarer Eigenschaften der Natur schliesslich zu deren Entzauberung. Den Axiomen, Definitionen, Hypothesen, Theorien und Modellen folgt schlussendlich der Wunsch der Naturwissenschafter, ein alle Gesetzmässigkeiten umfassendes System zu schaffen.
Die Philosophie, also die Frage nach dem Wesen und den Grenzen der Erkenntnis, will über den Rahmen der Naturwissenschaft hinaus, muss aber deshalb auf stichhaltige Beweisbarkeit ihrer Aussagen verzichten. Auch naturwissenschaftliche Theorien (z. B. der Energiesatz oder die Evolutionstheorie) können nie logisch zwingend bewiesen werden. Wir verfügen schlussendlich nur über Indizien-Beweise: Die Experimente.

Geschichte

Die *Weltgeschichte* ist zunächst eine Geschichte der Macht. Geschichtsdaten, wie sie in Schulbüchern vorkommen, betreffen fast ausschliesslich Machtwechsel, die meist durch Schlachten oder Intrigen eingeleitet wurden. Daran hat sich bis heute nichts geändert, wie ein Blick in die Tageszeitungen zeigt (man denke nur an den Wahnsinn des Krieges zwischen Iran und Irak). Mit *Arthur Koestler* lässt sich die Weltgeschichte folglich als das Schlachthaus oder Irrenhaus der Menschheit bezeichnen.

Wissenszunahme

Die für den Menschen wichtigeren Daten der Weltgeschichte betreffen die *irreversible Zunahme des Wissens,* sei es naturwissenschaftlich, technisch oder weltanschaulich. Diese Zunahme der Erkenntnisse und Kenntnisse hat die Welt in historisch kurzer Zeit bis zur Unkenntlichkeit verändert. Dazu seien im folgenden einige folgenschwere Beispiele genannt.

Irgendwo, vor vielleicht 10 000 Jahren, hat ein Mensch zum erstenmal absichtlich den Samen einer Nutzpflanze in den Erdboden gesteckt. Damit begann das Wissen um die Möglichkeit des Akkerbaus.

Im 6. Jahrhundert v. Chr. hatten sich die Existenzgrundlagen der Menschen so weit verbessert, dass immer mehr Zeit zum fragenden Nachdenken zur Verfügung stand. In jener Epoche, die Karl Jaspers als «Achsenzeit» bezeichnete, entstanden die grossen Weltreligionen. Es war die Zeit von *Siddharta Gautama* (Buddhismus) im heutigen Indien, von *Konfuzius* und wahrscheinlich auch von *Lao Tse* in China, von *Zarathustra* im heutigen Iran und des grossen Propheten *Jesaja,* welcher der Religion Israels einen neuen Weg wies, aus der 600 Jahre später das Christentum und weitere 600 Jahre später der Islam hervorgingen. Dieses innere Wissen hat sicher ebenfalls unsere Welt verändert.

Die explosive Kraft der Chemie – und speziell des Schwarzpulvers – war schon lange bekannt, aber erst im 14. Jahrhundert n. Chr. kam *Konstantin Ancklitzen,* genannt *Bertholdus Niger* oder *Berthold Schwarz,* auf die Idee, ein explosives Gemisch in ein Eisenrohr zu füllen und damit eine Kugel zu beschleunigen. Schusswaffen sind damit eigentlich chemische Waffen. Mit diesem technischen Wissen ausgerüstet, eroberten die Europäer schliesslich die ganze Welt.

Berthold Schwarz war nicht der einzige Erfinder der Schusswaffe, ja nicht einmal der erste, er hat sie (nur) bekannt gemacht. Fast jede Entdeckung hat einen ersten und einen berühmten Entdecker, und für das Wachstum des Wissens ist nun einmal der berühmte Entdecker (und wenn er auch nur ein «Sprachrohr» war) massgebend.

Auch *Johannes Gutenberg* hat den Buchdruck nicht als erster erfunden. Er hat ihn verbessert und das Wissen um diese technische Möglichkeit der Wissensvermittlung und -speicherung verbreitet. Er schuf das *erste leistungsfähige Medium:* das gedruckte Wort. Es ist schwer zu ermessen, welche ungeheure welthistorische Bedeutung dieser technischen Entdeckung zukommt. Ob wohl die elektronische Datenspeicherung und -verarbeitung eine vergleichbare Wirkung haben wird?

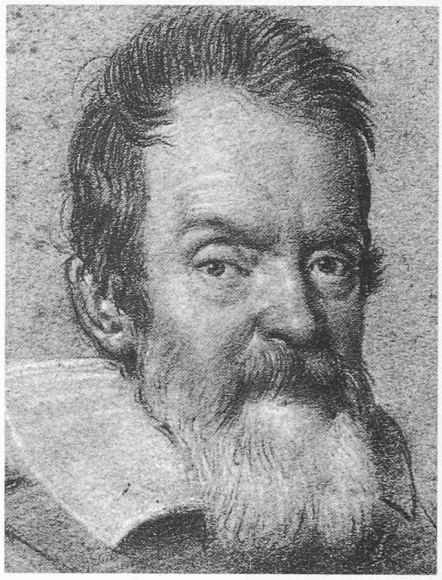


Bild 1. Galileo Galilei (1564–1642). Das Porträt von Ottavio Leoni (Biblioteca Marucellina, Florenz) lässt ahnen, dass auch dieser grosse Geist der Naturwissenschaft ein Mensch aus Fleisch und Blut war, der oft auch ein schwieriger Mensch sein konnte

Beobachtung und Experiment

Im Jahre 1600 schrieb *William Gilbert* das Buch «De Magnete». Er schuf damit nicht nur die Grundlage für den technischen Magnetismus (besonders den Kompass), sondern gab – gewissermassen nebenbei aber wissenschaftshistorisch von viel grösserer Tragweite – mit seinem Buch auch den Anstoss für die Entdeckung der Elektrizität. Das Buch ist im Vorwort ausdrücklich allen jenen gewidmet, die nicht nur lesen, sondern auch *beobachten.* Das Jahr 1600 fällt in die Lebensmitte von *Galileo Galilei* (Bild 1).

Mit Gilbert und Galilei begann sich eine neue Erkenntnis durchzusetzen: das Wissen um die *Tauglichkeit des naturwissenschaftlichen Experiments,* deren Tragweite damals sicher nicht voraussehbar war. Für Galilei war das Experiment zunächst *die* Waffe, um falsche, dogmatisch etablierte Theorien zu widerlegen, aber auch ein Mittel, mit

dem sich neue Ansichten (z. B. freier Fall) bestätigen liessen. *Wilhelm Conrad Röntgen* hat diese auch heute wieder erkannte Bedeutung des Experiments 300 Jahre später mit den Worten formuliert: «Das Experiment ist der mächtigste und zuverlässigste Hebel, durch den wir der Natur ihre Geheimnisse ablauschen können, und dasselbe muss die höchste Instanz bilden für die Entscheidung der Frage, ob eine Hypothese beizubehalten oder zu verwerfen ist.»

Jener Augenblick, in dem Galilei ein Fernrohr gegen den Sternenhimmel richtete, ist noch aus einem anderen Grund von kulturhistorischer Bedeutung. In jenem Moment fand eine entscheidende Grenzüberschreitung statt: Der Mensch richtete, einem Voyeur gleich, den Blick in eine bislang der naturwissenschaftlichen Neugier verbotene Welt.

Zufall

Die historische Bedeutung des Experiments liegt jedoch nicht in jener Zielsetzung von Röntgen. Seit 1600 erweist sich das Experiment als eine üppige Quelle von *Zufallsentdeckungen*, die nicht in Reichweite der menschlichen Phantasie liegen. Das war nicht voraussehbar. Dabei wurde fast alles wirklich Neue in der Naturwissenschaft zufällig beim Experimentieren entdeckt. Dadurch werden Türen zu Räumen aufgerissen, in denen anschliessend gezielt experimentell nach Erkenntnissen gesucht werden kann.

Ein paar Beispiele für wegweisende Zufallsentdeckungen sollen dies deutlich machen. So setzt die Welt der Elektrodynamik den elektrischen Strom voraus. Dass aber bewegte Ladung viel mehr bedeutet als beispielsweise bewegte Masse, nämlich Magnetismus, war nicht vorauszusehen. *Alessandro Volta* schuf, ausgehend von den Zufallsentdeckungen *Galvanis* (aufgrund einer falschen Theorie sowohl bei Galvani als auch bei Volta selbst, wie wir heute wissen), die erste permanente Spannungsquelle, die elektrische Batterie, und damit zufällig die *erste Stromquelle*. Sie ermöglichte die Forschungsergebnisse von *Oersted* und *Faraday* (wie Gutenberg Luther möglich gemacht hatte) und erwies sich als *das* Tor ins Reich der Elektrodynamik.

Fast 100 Jahre später entdeckte *Antoine Henri Becquerel* zufällig die Radioaktivität. In seinen ersten Publikationen kann man es wörtlich nachlesen, dass es Zufall war. Die Radioaktivität lag nicht in der Reichweite menschlicher Phantasie, denn etwas, das dauernd strahlt, verletzte den Energiesatz und wurde also schon deshalb nicht gesucht. Die Radioaktivität erwies sich ihrerseits als wichtig für das Erkennen der Atom*kerne*, deren Existenz man bis zum Jahre 1911 *(Rutherford)* nicht erahnte.

Selbst die Spaltbarkeit der Atomkerne war nicht Ziel wissenschaftlichen Suchens gewesen. *Hahn* und *Strassmann* trauten ihrer Interpretation im Winter 1938/39 selbst noch nicht, so kühn erschien ihnen damals diese heute scheinbar triviale Erkenntnis. Amerika und die Supraleitung, das Penicillin und selbst das Fahrrad sind durch Zufall entdeckt worden (Freiherr *von Drais* hat wohl kaum geahnt, dass sich ein Zweirad auch ohne Bodenkontakt der Füsse beim Fahren so spielend leicht balancieren lässt, dass es mit Pedalen oder gar einem Motor ausgerüstet werden kann).

Damit stellt sich die Frage, warum das Experiment als wissenschaftliche Arbeitsmethode erst in historisch so später Zeit angewendet wurde. Die Kirche hatte Galilei 1633 ja nicht das Experimentieren verboten, und sicher sind auch die Menschen um 1600 nicht schlagartig intelligenter geworden. Die Antwort kann nur sein, dass man nicht ahnen konnte, wie fruchtbar diese Methode ist, und vor allem wie ungeheuer viel noch in Reichweite der menschlichen Logik lag. Bis dahin hatten die grossen Denker des antiken Griechenlands das *Ganze* und nicht den *Teil* verstehen wollen. Das Experiment aber kann nur den Teil betreffen.

Seit 1600 hat das naturwissenschaftliche Wissen in einer Art Kettenreaktion progressiv zugenommen und auch zu jener Kettenreaktion von Kernspaltungen geführt, die am 16. Juli 1945 morgens um 5.30 Uhr zum ersten Mal von Menschenhand ausgelöst worden ist. Dies war sicher auch eines der wichtigsten Ereignisse der Weltgeschichte.

Irreversible Ereignisse

8000 v. Chr.	Ackerbau
1320 n. Chr.	Schusswaffen
1450 n. Chr.	Gutenberg
1600 n. Chr.	Das Experiment als Zündung der Kettenreaktion naturwissenschaftlicher Erkenntnis
1945 n. Chr.	16. Juli: Alamogordo

Physik

Will man heute das naturwissenschaftliche Wissen sichten, so ist zunächst einmal exakt zu definieren, was Physik eigentlich ist: Jede physikalische Grösse wird schliesslich durch ein experimentelles Messprinzip definiert (die Zeit ist beispielsweise für die Physik das, was die Atomuhr misst). Physikalische Grössen sind somit messbare Eigenschaften der Natur und die Physik die Wissenschaft von den logischen Zusammenhängen zwischen diesen messbaren Eigenschaften.

Sowohl die Annahme der eindeutigen Messbarkeit als auch die Existenz logisch zwingender Zusammenhänge sind schliesslich Hypothesen. Damit ist der Rahmen der Physik zwar sehr weit gesteckt, trotzdem wird so auch ihre Begrenzung deutlich, denn der weitaus grössere Teil der nichtmateriellen, für den erlebenden Menschen viel wichtigeren «Eigenschaften der Natur» ist ja nicht messbar (z. B. freier Wille, Freude, Trauer, Lebensqualität – kurz alles, was unser Bewusstsein ausmacht). Vor allem ist ein wirklich freier Wille ein *Wunder* in des Wortes buchstäblicher Bedeutung, denn er ermöglicht individuelle, willkürliche Eingriffe in das physikalische Naturgeschehen.

Entzauberung der Natur

Der Glaube an die logische Interpretierbarkeit der Natur beginnt etwa 600 v. Chr. mit *Thales von Milet* als dem berühmten (sicher nicht ersten) Entdekker der Naturwissenschaft. Etwas, das von Göttern und Geistern regiert wird, kann nicht logisch interpretiert werden. Mit Thales beginnt deshalb auch die schrittweise *Entzauberung der Natur*. Was Thales kaum zu vermuten wagte, ist heute fast zur trivialen Selbstverständlichkeit geworden. Die Natur lässt sich – mindestens im Rahmen der messbaren Eigenschaften – logisch interpretieren. Dass dies keine Trivialität ist, macht ein Wort von *Albert Einstein* bewusst: «Das ewig Unbegreifliche an der Welt ist ihre Begreiflichkeit.»

Den ersten grossen Durchbruch in der Naturwissenschaft nach dem Zeitalter von Gilbert und Galilei brachte das Jahr 1687 mit *Isaac Newtons* «Principia». Kulturhistorisch liegt die Bedeutung Newtons weniger darin, dass er ein tragfähiges Fundament der Mechanik schuf, sondern dass er mit dem Gravitationsgesetz ein mathematisches Instrument lieferte, mit dem die Bewegung der Planeten exakt begründet werden konnte. Damit war der Himmel zur «Maschine» geworden. Diese Saat ging im nächsten Jahrhundert auf, das sich selbst als das *Jahrhundert der Aufklärung* bezeichnete und in dem selbst der Mensch als naturwissenschaftliche Maschine interpretiert wurde (z. B. bei La Mettrie in «L'homme machine», 1747). Diese Idee ist allerdings – wie so manches – schon bei den «alten Griechen» anzutreffen, zum Beispiel bei Demokrit 400 v. Chr. Materialismus ad absurdum geführt!

Das 19. Jahrhundert brachte naturwissenschaftlich den Aufbau und den Abschluss der sogenannten klassischen Physik sowie *Darwins* Theorie der Evolution.

Im 20. Jahrhundert wurde die Physik nach den Worten von *Armin Hermann* zur «Jahrhundertwissenschaft». Zwei revolutionäre Theorien, die sicher zu den gewaltigsten Leistungen menschlicher Intelligenz gezählt werden dürfen, sind in den ersten drei Jahrzehnten dieses Jahrhunderts entstanden: Einsteins Relativitätstheorie und die Quantenphysik. Beide Theorien sind sehr abstrakt. Die *Allgemeine Relativitätstheorie,* zwischen 1913 und 1916 entstanden, ist wohl nur von wenigen Menschen ganz verstanden worden (wenn auch einzelne ihrer Paradoxa heute zum eisernen Bestand von Physik-Lehrbüchern gehören). Der russische Mathematiker *Alexander Friedmann* zeigte 1922, dass die ursprünglichen Einsteinschen Feldgleichungen spezielle, nichtstatische Lösungen des Raum-Zeit-Kontinuums zulassen. Seither weiss man, dass es im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie logisch denkbar ist, dass das ganze Universum, also Raum, Zeit und Materie, mit einer mathematischen Singularität begann und schliesslich wieder in einer mathematischen Singularität verschwinden wird.

Die *Quantenphysik* konnte sich dagegen nur sehr langsam in Lehrbüchern etablieren, zu unglaublich war ihre Aussage, dass die Natur im mikrophysikalischen Einzelfall «würfelt». Einstein hat sein Leben lang daran gezweifelt, und für viele Naturwissenschaftler ist die Schrödingersche Quantenphysik heute noch ein für viele Probleme zwar taugliches, mathematisch faszinierendes Rezept, dessen prinzipielle Konsequenz der Akausalität im Einzelfall aber eher verdrängt als wirklich akzeptiert wird.

Die Schrödingersche Wellenmechanik entsprach wiederum einem «Zauberlehrling». Unglaublich, wieviel die «Geisterfunktionen» leisten konnten! Dass es mit der sogenannten Kopenhagener Deutung 1927 der Wellenmechanik gelang, den *Dechiffrierschlüssel* zu finden, der aus der komplexen Mathematik die messbaren Phänomene liefert, darf vorläufig als der intellektuelle Höhepunkt der Physik bezeichnet werden. (Dieser Dechiffrierschlüssel führt vor allem zur Heisenbergschen Unschärferelation, jenem elementaren Freiheitsraum, über den die Natur grundsätzlich keine Auskunft gibt.) Doch auch diese Geister, die *Schrödinger* rief, wurde er nicht mehr los, denn er selbst hat die Kopenhagener Deutung abgelehnt...

Logische Vereinheitlichung

Heute verfügen wir in der Physik über ein widerspruchfreies logisches System von Axiomen (abgesehen von mathematischen Singularitäten), von dem wir glauben, dass es alle messbaren Phänomene zu erklären vermag. Historisch entstanden neue Theorien, entweder um bisher nicht erfassbare Phänomene erklären zu können (z. B. Spektrallinien, Quantentheorie) oder um Widersprüche in der Axiomatik zu beseitigen (z. B. Maxwells Hypothese des sogenannten Verschiebungsstromes und Einsteins Relativitätstheorie).

Folglich glaubt man heute, dass die wenigen noch verbliebenen unerklärbaren Phänomene (z. B. die Neutrinoproduktion der Sonne) nicht durch neue Axiome, sondern mit Hilfe besserer Modelle gedeutet werden können. Beispielsweise ist die gesamte Festkörperphysik zur Kunst der optimalen Modelle geworden, die Axiomatik steht auch hier nicht mehr zur Diskussion. Geblieben ist die Hoffnung, die Axiomatik vereinheitlichen, d. h. alles unter einen Hut bringen zu können.

Eine ähnliche Hoffnung besteht darin, den immer noch komplexen «Zoo» der Elementarteilchen (aus Leptonen und Quarks) vereinfachen zu können. Die letzten Jahre haben Indizien dafür geliefert, dass eine solche Weltformel noch in Reichweite menschlicher Logik ist. Einstein hat ein Leben lang vergeblich danach gesucht. Einen Namen für eine solche umfassende Theorie hat man bereits: Supergravitation.

Hier sei noch eine Bemerkung zu den Menschen gestattet, die am Aufbau dieser «Pyramide des Wissens» beteiligt waren. Es waren Menschen aus Fleisch und Blut! Zwischen wissenschaftlicher und menschlicher Grösse besteht sicher kein Zusammenhang. Ein Personenkult, wie er leider früher und zum Teil auch heute noch um grosse Physiker getrieben wurde und wird, stimmt oft skeptisch und kann kontraproduktiv wirken. Albert Einstein ist zum Beispiel zum Inbegriff eines Personenkultes geworden. Er hat diese Rolle sicher nicht gesucht und sich auch einmal scherzhaft als den «Heiligen des jüdischen Volkes» bezeichnet.

Unter dem Titel «Im Schatten Albert Einsteins» ist kürzlich ein Buch über das tragische Leben von Mileva Einstein-Maric erschienen (deutsch im Haupt-Verlag). Mileva war Einsteins erste Frau. Sie stand ihm im genialsten Zeitabschnitt seines Lebens zur Seite und blieb später allein mit einem geisteskranken Sohn in Zürich zurück. Der Sohn Eduard stand vollständig im Schatten des berühmten Vaters und war dieser Situation nicht gewachsen. Er ging geistig daran zugrunde, war eine grosse Belastung für die alleinstehende Mutter und endete schliesslich in einer psychiatrischen Klinik. Das Buch enthält kaum konkrete Vorwürfe an die Adresse von Albert Einstein, es zeigt nur, dass auch Einstein als Mensch Schatten geworfen hat.

Philosophie

Nach dieser naturgemäss etwas unvollständigen Geschichte der Physik, in der nur ein paar Schlaglichter auf das Geschehen von sehr grosser Tragweite geworfen werden konnten, soll nun noch versucht werden, eine Art Geschichte der Philosophie zu skizzieren. Sie wird sich ebenfalls auf eine Aufzählung des Spektakulären beschränken müssen – und dies aus der Sicht eines Naturwissenschaftlers, der versucht, Brücken zwischen den Welten der Physik und der Philosophie zu schlagen.

Was will die Philosophie?

Philosophie ist Frage, unermüdlich bohrendes Fragen! Vor allem ist es die Frage nach dem Wesen und den Grenzen der Erkenntnis sowie die Frage nach einer philosophischen Ethik, nach Richtlinien des menschlichen Handelns. Philosophie ist der Versuch, durch Vernunft glücklich zu werden (Epikur).

Für den Naturwissenschaftler entsteht beim Studium philosophischer Literatur oft ein Gefühl der Unsicherheit; es fehlt ihm «der Boden unter den Füssen». Er vermisst die klare Euklidsche Beweislogik, nämlich Voraussetzung – Behauptung – Beweis. Sie ist bei wahrer Philosophie jedoch gar nicht möglich, denn Philosophie will über den engen Rahmen der Naturwissenschaft hinaus. Die Philosophie erstrebt damit sehr viel mehr, sie muss aber notgedrungen auf die naturwissenschaftliche Sicherheit ihrer Aussagen verzichten und wird deshalb heute leider oft aus dem Bewusstsein verdrängt.

Man spricht nur von *einer* etablierten Naturwissenschaft, aber von *vielen* zum Teil gegensätzlichen Philosophien. Die Geschichte der Philosophie kann mit einer Gemäldegalerie verglichen werden: Gemälde sind ebenfalls nicht quantifizierbar und in ihrer Wirkung oft grundverschieden (man denke beispielsweise an Van Gogh und Picasso).

Geschichte der Philosophie

Auch die Philosophie kennt erste und berühmte Entdecker. Ihr berühmter Entdecker ist zweifellos *Sokrates* (Bild 2), der im 5. Jahrhundert v. Chr.

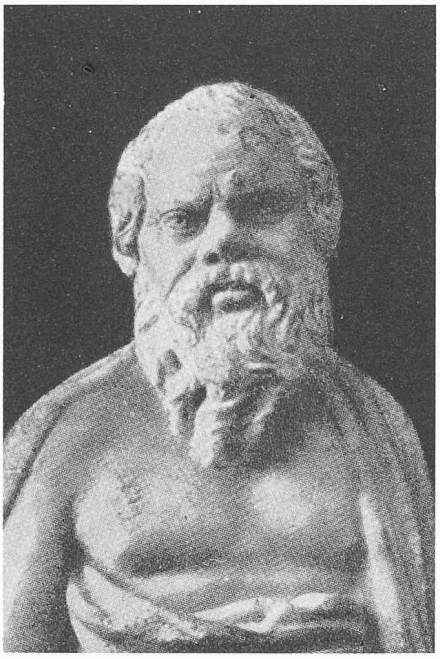


Bild 2. Sokrates (470–399 v.Chr.). Symbol für etwas vom Schönsten, das diese Welt zu bieten hat: das Gespräch. Als Verderber der Jugend zum Tod verurteilt, nahm er das Urteil auf sich (Bild aus W. Durant, «Die grossen Denker», Orell Füssli, Zürich)

in Athen lebte und wirkte. Er ist zum Symbol geworden für etwas vom Schönsten, was diese Welt zu bieten hat: das Gespräch! Sein Schüler *Platon* schuf das berühmte «Gemälde» mit dem Höhlengleichnis und illustrierte damit eindrücklich die trügerische Vollkommenheit der sinnlichen Wahrnehmung. Denkendes Erkennen war für ihn nur dank *angeborener* Ideen möglich. Diese *Platonsche Ideenlehre* kann ebensowenig logisch bewiesen werden wie die berühmten Worte «cogito ergo sum» von Descartes. Beides ist eben Philosophie und nicht Naturwissenschaft.

2000 Jahre nach Sokrates und Platon, nämlich in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts, fand die Zündung der Kettenreaktion naturwissenschaftlichen Wissens statt. Die vielleicht hervorragendsten Philosophen jener Wendezeit waren *René Descartes* und *Blaise Pascal*, beide auch grosse Naturwissenschaftler. Über Descartes Worte «cogito ergo sum» ist vieles geschrieben worden. Sie sind wohl eher als «ich zweifle, also bin ich» oder «ich frage, also bin ich» zu interpretieren als nur mit «ich denke, also bin ich» zu übersetzen. Im Sinne von *Arthur Schopenhauer* könnte man vielleicht ergänzen: «Ich will aus freien Stücken, also bin ich.» Wer aufhört zu fragen, philosophisch zu fragen, geht nach Descartes mit geschlossenen Augen durchs Leben.

Das philosophische «Gemälde» namens Descartes ist zum Symbol geworden für die *Trennung von Geist und Materie*. Jene Grenze zwischen dem materiellen menschlichen Gehirn einerseits (heute interpretierbar als komplexes System von unveränderlichen Elementarteilchen, vor allem Elektronen) und dem Bewusstsein andererseits wird wohl nie überschritten werden können. Für die Entwicklung der Naturwissenschaft ist die Descartessche Trennung bzw. die Einschränkung der Naturwissenschaft auf die materielle Welt sehr fruchtbar gewesen. Die gewaltigen Erfolge der menschlichen Intelligenz in der Welt der Materie haben eigenartigerweise aber oft zu einer Verdrängung der Welt des Geistes und zu einem mehr oder weniger bewussten, schrankenlosen Materialismus geführt (sowohl im Zeitalter der Aufklärung als auch in unserer Zeit mit ihrer Tendenz, das Paradies um jeden Preis im Diesseits zu suchen).

Pascal hinterliess ein philosophisches «Gemälde» ganz anderer Art, obwohl zwischen den beiden grossen Mathematikern viele geistige Verwandschaften bestehen. Für Pascal war es zunächst das höchste Ziel der Philosophie, die begrenzte Reichweite der Logik bewusst werden zu lassen. Sein «Gemälde» zeigt den verzweifelnden, denkenden Menschen allein auf einer einsamen Insel, umgeben vom rauhen Meer, mit dem einzig sicheren Wissen, dass er einmal sterben muss. Ein Bild, das man bei *Bertrand Russel* 300 Jahre später wieder antrifft. Während aber Pascal als einzige Rettung den christlichen Glauben sah, suchte Russel aus dieser trostlosen Einsamkeit die Flucht in die Liebe, nämlich die Liebe zwischen Mann und Frau.

Ein Höhepunkt in dieser philosophischen «Gemäldegalerie» ist das Weltbild des *Immanuel Kant*, dem Königsberger Philosophen, der als Mensch ein Muster preussischer Selbstdisziplin war. Man befindet sich sicher in guter Gesellschaft, wenn man zugibt, Kant im Originaltext nicht verstanden zu haben. Seine *Kritik der Vernunft* führte ihn zu der Erkenntnis der angeborenen, zwangsläufigen *Kategorien des Denkens:* Raum, Zeit und Kausalität. Der denkende Mensch interpretiert die Natur nach a priori in ihm vorhandenen Strukturen, zwingt ihr also gewissermassen seine Denkgesetze auf. Kant steht damit in diametralem Gegensatz zu Lockes berühmter «tabula rasa», wonach es kein Wissen apriori gibt.

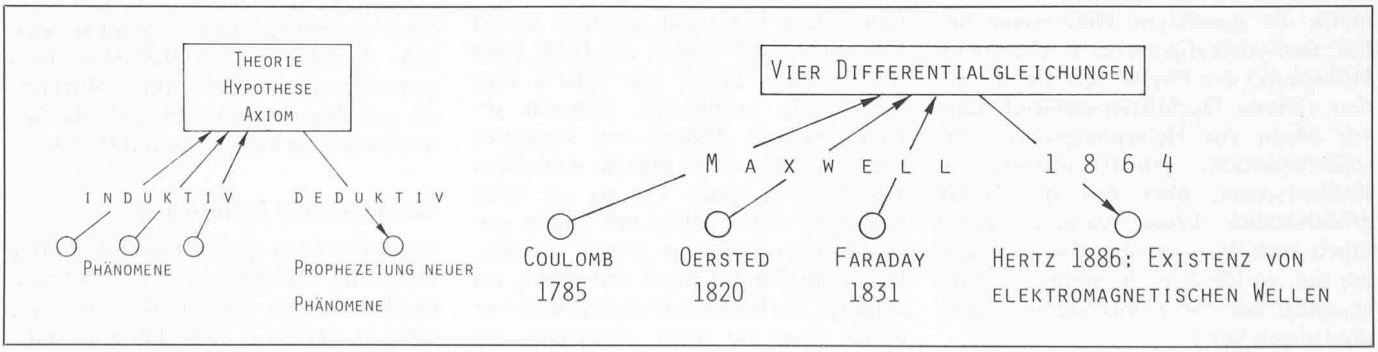
Beide Ansichten können – wie alle Philosophie – nicht mit Euklidscher Logik bewiesen werden. Heute bahnt sich allerdings die Möglichkeit an, Kant wenigstens diesbezüglich naturwissenschaftlich zu verstehen. Diese moderne Brücke zwischen Naturwissenschaft und Philosophie wird als *Biologische Erkenntnistheorie* bezeichnet. Um ihre Bedeutung erfassen zu können, seien hier noch kurz einige Bemerkungen darüber eingeschoben, wie naturwissenschaftliche Erkenntnis eigentlich entsteht.

Phänomene und Theorien

Am Anfang jeder Naturwissenschaft stehen die Phänomene, die experimentellen Beobachtungen. Sie stellen Spezialfälle dar. Durch induktives Denken wird nach einem überlagerten Prinzip gesucht, mit dem sich die Phänomene logisch zwingend begründen lassen. So entsteht eine Theorie, eine Deutung der Phänomene. Die Theorie wird dadurch geprüft, dass aus ihr deduktiv auf weitere mögliche Phänomene geschlossen wird, die dann experimentell zu suchen sind (Bild 3).

Ein besonders schönes Beispiel für diesen Mechanismus naturwissenschaftlicher Erkenntnis ist die Maxwellsche Elektrodynamik. Dem Mathematiker *James Clark Maxwell* gelang es 1864, verschiedene mit den Namen *Coulomb*,

Bild 3. Der Mechanismus naturwissenschaftlicher Erkenntnis



Oersted und *Faraday* verknüpfte Phänomene in einer Theorie zusammenzufassen, jenen berühmten vier gekoppelten Differentialgleichungen, die *Ludwig Boltzmann* zum Goethe-Wort «War es ein Gott, der diese Zeilen schrieb?» veranlassten. Aus seiner Hypothese zog Maxwell den Schluss auf die mögliche Existenz elektromagnetischer Wellen, die *Heinrich Hertz* 1886 dann auch experimentell nachweisen konnte.

Kein Mensch hat damals geahnt, dass jener schwache Effekt in der Apparatur von Hertz unsere Welt so nachhaltig verändern würde. *Adolf Hitler* hat als erster das Medium der elektromagnetischen Wellen eingesetzt und den Rundfunk für seinen Machtanspruch missbraucht. Heute tragen sie - via Tagesschau im Fernsehen - die Brutalität der zeitgenössischen Weltgeschichte mitten in unsere Wohnzimmer.

Die moderne theoretische Physik führt alle Kräfte der Natur schliesslich auf *vier Urkräfte* zurück: Gravitation, elektrodynamische Kraft, schwache Kernkraft und starke Kernkraft. Nach einer noch sehr vagen Theorie, die man als *Grand Unification* bezeichnet, gelingt es, drei dieser vier Urkräfte (ausser der Gravitation) unter einen Hut zu bringen. Eine deduktive Konsequenz dieser neuen Theorie wäre die Instabilität des Protons. Deshalb wird heute intensiv versucht, einen Zerfall freier Protonen experimentell nachzuweisen, um so ein Indiz für die Richtigkeit der Grand Unification zu erhalten (so wie seinerzeit Hertz die Richtigkeit der Maxwellschen Gleichungen geprüft hat).

Soviel sei vorläufig zum Wesen naturwissenschaftlicher Erkenntnis gesagt. Dieser induktiv-deduktive Mechanismus hat sich bisher als sehr fruchtbar erwiesen, so fruchtbar, dass wir heute vielleicht gar keinen anderen Weg mehr sehen können.

Evolutionstheorie

Die Theorie der *Evolution* in der Biologie ist nach demselben Mechanismus entstanden. Fossilien, Beobachtungen der vergleichenden Anatomie und die spezielle Fauna auf den Galapagos-Inseln waren in erster Linie die Phänomene zur Zeit von *Charles Darwin* (Bild 4). Seither ist noch sehr vieles hinzugekommen (z. B. die chemischen Verwandtschaften des Atmungsenzyms Cytochrom C bei verschiedenen Tierarten).

Die Evolution mit ihren Stichworten *Mutation* und *Selektion* kann ebensowenig wie jede andere naturwissenschaftliche Theorie bewiesen werden. Nicht einmal der Energiesatz der Physik lässt sich beweisen. Es gibt lediglich Indizien; im Fall des Energiesatzes ist die Beweislast der Indizien (der experimentellen Erfahrung) allerdings erdrückend. Trotzdem, ein «Geständnis» liegt auch hier nicht vor (es bleibt ewig beim Verdacht), und der Energiesatz ist nur so lange richtig, bis jemand eine Ausnahme findet. Danach wird nun allerdings in der Form des Perpetuum mobiles seit Jahrtausenden gesucht.

Im Fall der Evolution ist der «Indizienbeweis» natürlich sehr viel weniger sicher und die Theorie im Detail auch noch nicht abgeschlossen. «Blinder Zufall» kann es jedenfalls nicht gewesen sein, denn auch ein paar Milliarden Jahre reichen bei weitem nicht aus, die ungeheure Mannigfaltigkeit des Lebens begründen zu können. Diese Problematik der Evolutionstheorie hat zum Stichwort vom *programmierten Zufall* geführt, sie ist Gegenstand vieler naturwissenschaftlicher Untersuchungen und Kontroversen.

Trotzdem wird unter Naturwissenschaftlern am fundamentalen Mechanismus der Evolution nicht mehr gezweifelt. Sie ist eine logisch denkbare Theorie, zu der in der Naturwissenschaft keine Alternative besteht. Zwingend beweisbar ist sie, wie bereits erwähnt, selbstverständlich nicht.

Man kann die Fragestellung, die der Evolutionstheorie zugrunde liegt, die Natur ohne Wunder erklären zu wollen, natürlich ablehnen. Der oft unternommene Versuch, wenigstens einzelne Wunder (z. B. in der Evolution) naturwissenschaftlich evident werden zu lassen, muss aber erstaunen, ist doch das Ganze - mit oder ohne Evolution oder Naturwissenschaft - schliesslich ein völlig unfassbares Wunder. Es ist für uns tragisch, dass die christliche Religion, verglichen mit den anderen Weltreligionen, am meisten unter dem gewaltigen Wachstum des naturwissenschaftlichen Wissens gelitten hat - vielleicht, weil im Christentum Wunder im Sinne von Eingriffen in die Natur eine grössere Bedeutung haben.

Anpassung

Das Wissen um die Evolution führt zur Konsequenz, jede Fähigkeit der Lebewesen als *Anpassung* an den Existenzkampf in der Natur zu interpretieren. Das Sehen ist eine solche Fähigkeit. Das Auge entwickelte sich im Sinne der Evolution durch sukzessive Verbesserung bis zu jenem wunderbaren Organ, dass uns an der Grenze des überhaupt physikalisch Möglichen (Beugung) ein Bild der Natur vermittelt. In der Umwelt gibt es relativ viel elektromagnetische Wellen im Wellenlängenbereich

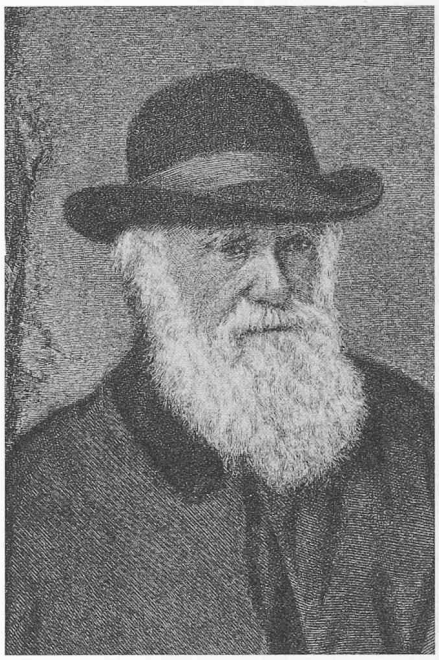


Bild 4. Charles Darwin (1809-1882). Ein Jahr vor seinem Tod. Schöpfer der Evolutionstheorie. Sie stellt eine logische Hypothese dar, die heute zur Lehrbuchmeinung geworden ist, obwohl der Mechanismus im einzelnen noch nicht vollständig abgeklärt ist. Sie stellt den religiösen Menschen vor die Notwendigkeit, das Ganze als etwas völlig Unfassbares zu sehen und nicht in Teilen die Wunder zu suchen

zwischen 400 und 800 nm (Sonne und Durchlässigkeit der Atmosphäre). Sie eignen sich physikalisch für geometrische Abbildungen mit sehr hohem (z. B. verglichen mit Schallwellen), aber grundsätzlich begrenztem Auflösungsvermögen (Beugung). Das Auge vermittelt uns das trügerische Gefühl einer objektiven Abbildung. Wir glauben instinktiv, «das Ding an sich» zu sehen. Die Naturwissenschaft hat das Wissen um die drei physikalischen Grenzen des Auges geliefert: das im riesigen Spektrum der technisch möglichen elektromagnetischen Wellen sehr schmale sichtbare Intervall von 400 bis 800 nm, das aufgrund der Beugung grundsätzlich beschränkte geometrische Auflösungsvermögen (von etwa einer halben Winkelminute) und die extrem grosse, aber ebenfalls begrenzte Empfindlichkeit.

Logisches Denken

Konrad Lorenz (Bild 5) hat wohl als erster darauf hingewiesen, dass die Fähigkeit zum logischen Denken ebenfalls im Sinne der Evolution als Anpassung verstanden werden kann. Diese Anpassung hat bis jetzt (im Gegensatz zum Auge) erst beim Menschen eine relativ starke Ausprägung erfahren, wohl weil ein Lebewesen mit freien Händen den grössten Nutzen von dieser Fähigkeit hat. Auf die Frage, warum unsere Denkfähigkeit auf die Natur «passt», gab Lorenz die bekannte Antwort, «aus

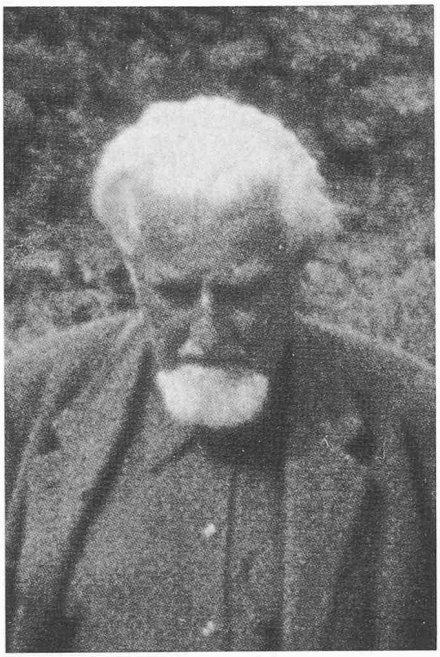


Bild 5. Konrad Lorenz (geb. 1903). Begründer der Tierpsychologie, heute Verhaltensforschung genannt. Er erkannte, dass unsere Denkfähigkeit eine Anpassung an die Natur darstellt. Wir denken logisch, weil sich die Natur an diese «Spielregeln» hält (Bild «Das Tier»)

denselben Gründen, aus denen die Form des Pferdehufes auf den Steppenboden und die Fischflosse ins Wasser passt». Deshalb ist die Natur für uns begreifbar.

Die Kantschen Kategorien sind a priori in uns vorhanden (von unserer Art erlernt), weil sich auch die Natur an sie hält, und das gleiche dürfte auch für die Platonsche Ideenlehre zutreffen. Dieses neue Wissen von Lorenz stellt eine naturwissenschaftliche Antwort auf eine ursprünglich philosophische Frage dar. Jene vorstehend zitierten Worte von Einstein finden damit teilweise eine Antwort. Begreifbar ist die Natur für uns, weil wir «angepasst denken», warum die Natur sich aber an die Logik hält, bleibt selbstverständlich unbegreifbar.

Zwischen dem Sehen und dem logischen Denken besteht eine ausgeprägte Analogie: Das Auge entstand, weil es in unserer Umwelt elektromagnetische Wellen gibt; unsere Fähigkeit zum logischen Denken entstand, weil sich die Natur an die Logik hält. Auch unsere Denkfähigkeit vermittelt uns das trügerische Gefühl der Unfehlbarkeit. Die Suche nach einer zusammenfassenden Theorie aller Elementarkräfte (Stichwort: Supergravitation) ist getragen vom *Glauben*, dass so etwas in Reichweite menschlicher Logik sei. Wenn das gelingen sollte, so wäre es zunächst einmal mehr ein Grund zum *Staunen*.

Im Sinne der Evolution war unsere Denkfähigkeit eine Anpassung, zuständig (mindestens) in der «Welt der mittleren Dimensionen» (mm bis km), in denen sich unser Leben abspielt. Dass sie von 10^{-15} m (den Abständen in den Atomkernen) bis zu 10 Mio. Lichtjahren (der Ausdehnung des Universums) zuständig ist (oder zumindest scheint), muss erstaunen. Die Unfehlbarkeit unserer Logik ist aber genauso fraglich wie die Objektivität unserer Augen.

Überarbeitete Fassung des Vortrags vom 29. März 1984 vor dem Technischen Verein Winterthur undd der SIA-Sektion Winterthur, der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Winterthur NGW, der STV-Sektion Winterthur und der Schweizerischen Gesellschaft pro Technorama.

Grenzen der Logik

Die Suche nach der *Supergravitation* ist der Versuch, die Grenze des logisch Erreichbaren (wie weit lässt sich die Natur entzaubern?) weiter hinauszuschieben. Die Situation ist vielleicht den Weltrekorden im Sport vergleichbar (z. B. Hochsprung: Welche Höhe liegt noch für Spitzensportler in Reichweite des menschlichen Körpers?). In beiden Fällen ist aber die Existenz einer Grenze evident. Die Logik kann nie absolute Aussagen machen, sie kann nur *verknüpfen*. Das hatte ja schon Pascal vor mehr als 300 Jahren erkannt und als ein höchstes Ziel der Philosophie gefordert, diese sehr begrenzte Aussagekraft der Logik bewusst werden zu lassen.

Die Physik macht diese Grenze besonders deutlich, ist sie doch schliesslich lediglich die Kunst, sehr viele kleine Rätsel (die Phänomene) logisch zwingend auf wenige grosse Rätsel (die Theorien) zurückzuführen (zu verknüpfen). Das nächste grosse Rätsel wäre dann eben die Supergravitation oder die Frage, was vor dem Urknall war.

Die Philosophie will mehr, sie muss aber gerade deshalb immer Frage bleiben.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. sc. nat. *P. Cotti*, im Gässli 37, 8162 Niedersteinmaur.

Zementverfestigung von schwach- und mittelaktivem Abfall aus LWR-Kernkraftwerken

Von Karl-Heinz Wiedemann und Dietrich Laske, Würenlingen

Seit 1977 läuft am Eidg. Institut für Reaktorforschung in Würenlingen ein Entwicklungsprogramm der NAGRA zur Zementverfestigung von schwach- und mittelaktiven Abfällen aus schweizerischen Kernkraftwerken. Es sollten geeignete Mischungen und Verfahren für zwischen- und endlagerfähige Verfestigungen mit Zement gefunden werden.
Aus den umfangreichen Versuchsreihen ergaben sich Verfestigungen mit Druckfestigkeiten von 10 bis 50 N/mm². Die Nuklidauslaugraten sind mehr als hundertmal kleiner als der geforderte Richtwert von 10^{-3} g/cm²·Tag.

Einleitung

Radioaktive Abfälle müssen für die Zwischen- und Endlagerung so konditioniert werden, dass eine Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Biosphäre verhindert oder genügend verzögert wird. Dazu werden die Abfälle mit Hilfe eines Matrixmaterials in eine feste Form gebracht. Diese Abfallmatrix stellt im Sicherheitsbarrierenkonzept die erste Barriere dar.

Als Matrixmaterialien werden heute technisch – in der Reihenfolge zunehmender Strahlen- und thermischer Beständigkeit – Bitumen, Kunststoffe (ausgewählte Polymerisate), Zement und Glas eingesetzt. Schwach- und mittelaktive Abfälle werden in Bitumen, Kunststoffen und Zement verfestigt, während für hochradioaktive Abfälle Gläser [1] geeignet sind.

Im Auftrag und mit finanzieller als auch personeller Unterstützung der NAGRA wurden am EIR umfangreiche Versuchsreihen durchgeführt, um anwendungsbereite optimale Verfahren und Mischungen zur Zementverfestigung von schwach- und mittelaktiven Abfällen aus schweizerischen Kernkraftwerken zu entwickeln.

Anforderungen an Zementverfestigungen

Aus wirtschaftlichen Gründen soll in eine Abfallmatrix möglichst viel Abfall