Mathematische Modelle und Naturerkenntnis

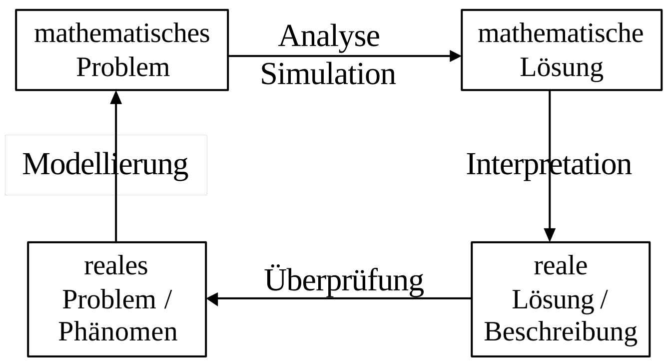
Claus Peter Ortlieb

Zusammenfassung

Gefragt wird nach den Besonderheiten einer Naturerkenntnis, die auf mathematischen Modellen basiert, nach ihren Möglichkeiten, aber auch ihren Beschränkungen. Die Mathematik ist dem Erkenntnisprozess nicht äußerlich, sie spielt eine aktive Rolle. Entgegen der empiristischen Auffassung des naturwissenschaflichen Mainstreams bleiben davon auch die Ergebnisse „objektiver Erkenntnis" nicht unberührt.

Einleitung

Der gemeinsame Durchschnitt der wenigen (meist amerikanischen) Lehrbücher über Mathematische Modellbildung ist nebenstehendes Diagramm, das den Modellierungsprozess darstellen soll:



Der Modellierungsprozess

Ausgangspunkt ist ein reales Problem oder erklärungsbedürftiges Phänomen, hieraus wird ein mathematisches Problem entwickelt, ein Bild der Wirklichkeit, dieses wird mit mathematischen Methoden gelöst, die mathematische Lösung wird hinsichtlich ihrer realen Bedeutung interpretiert und auf ihre Relevanz für das reale Problem überprüft.

Das Schema kann den irreführenden Eindruck vermitteln, es handele sich um eine Art Algorithmus, den man nur in Gang setzen müsse, um gesicherte Erkenntnisse zu produzieren. Lehrveranstaltungen zur Mathematischen Modellierung und Simulation, für die dieses Schema durchaus hilfreich sein kann, sollten deshalb die übergreifenden Fragestellungen, die mit ihm verbunden sind, immer wieder in Erinnerung bringen:

- Stimmt dieses Bild?
- Welche Grundannahmen über die Wirklichkeit stehen dahinter?

- Was leistet dieser Ansatz, was nicht?
- Welche Regeln sind bei seinem Gebrauch zu beachten?

Diese Fragen lassen sich nicht kurz beantworten, hierüber gibt es noch nicht einmal eine vom konkreten Modell unabhängige Theorie. Im Folgenden soll es nur darum gehen, dieses Bild zu problematisieren, und zwar hinsichtlich der Beziehung von Mathematik und Realität.

Ich halte das Bild für einigermaßen zutreffend, soweit es die *Tätigkeiten* betrifft, die ausführen muss, wer mathematisch modellieren will. Was ich problematisieren möchte, ist die Vorstellung, ein mathematisches Modell sei ein *Abbild der Wirklichkeit*, wie es der linke Pfeil von unten nach oben nahe legt. Meine These ist, dass man diesen Pfeil auch umdrehen könnte, dass also die Wirklichkeit, von der hier geredet wird, eine bereits mathematisierte, durch Mathematik geprägte Wirklichkeit ist, das heißt aber auch: eine zutiefst eingeschränkte Wirklichkeit.

Für die meisten realen Probleme, die in diesem Band angesprochen werden, ist das übrigens fast eine Banalität: Es gilt etwa für alles, wo Geld eine Rolle spielt, wie beispielsweise die Steuergesetzgebung, ebenso für alles, was mit moderner Technik zu tun hat: Es gibt kein modernes technisches Gerät, in dem nicht Mathematik versteckt ist. Aufgabe des Mathematikunterrichts ist es, das ins Bewusstsein zu heben, die Mathematik also zum Vorschein zu bringen. Wir leben in einer durch und durch mathematisierten Gesellschaft. Wer das nicht weiß, kann sie nicht verstehen. Hier liegt eine, wenn nicht *die* Bildungsaufgabe des Mathematikunterrichts.

Mein Thema lautet nun aber: Mathematische Modelle und *Naturerkenntnis*. Meine These müsste demnach lauten, auch die Natur sei durch und durch mathematisiert. In dieser Form möchte ich das gerade nicht behaupten, sondern: Unser *Blick* auf die Natur ist es. Wenn man sich die Naturwissenschaften als institutionalisierte Naturerkenntnis ansieht, scheint auch diese Aussage fast trivial. Ich behaupte aber, dass es sich keinesfalls um eine aus naturwissenschaftlichen Erkenntnissen zu ziehende Folgerung handelt, sondern umgekehrt um eine *nicht weiter begründete Prämisse*, eine vortheoretische Annahme, durch die moderne Naturwissenschaft überhaupt erst möglich wird und der sie ihre scheinbar objektiven Ergebnisse verdankt.

Die folgenden Ausführungen bewegen sich auf einer erkenntnistheoretischen Ebene, und *unmittelbare* Hilfen für den Schulunterricht lassen sich aus ihnen nicht ableiten. Ich glaube aber, dass es didaktische Konsequenzen gibt, auch wenn ich sie selbst, da kein Schulmensch, nicht durchdacht habe.

Eine Gegenposition zum empiristischen Bild von der wertfreien Wissenschaft

Das öffentliche Bild von der Naturwissenschaft orientiert sich ebenso wie der naturwissenschaftliche Mainstream am Empirismus. Danach gehe alle Wissenschaft von Tatsachen aus bzw. habe davon auszugehen. Das Kriterium für die Wahrheit wissenschaftlicher Aussagen sei ihre Überprüfung an der Wirklichkeit. Mathematische Naturwissenschaft entdecke objektive Gesetzmäßigkeiten, die es auch ohne sie gibt. Sie seien kulturunabhängig und gelten für alle Menschen gleichermaßen, letztlich auch ohne sie.

Der Empirismus gerät allerdings in Erklärungsnöte, wenn es um die Rolle der Mathematik im Erkenntnisprozess geht: Warum passen die „freien Schöpfungen unseres Geistes", die die mathematischen Gegenstände spätestens seit Hilbert (1900/1998) sind, so gut zu den Naturerscheinungen? Weder die moderne Auffassung von Mathematik noch der Begriff des mathematischen Modells lassen sich mit den empiristischen Vorschriften[1] so ohne Weiteres zur Deckung bringen.

Die auf Leibniz zurückgehende Vorstellung einer „prästabilierten Harmonie" besagt, Gott habe dafür gesorgt, dass unsere Erkenntnisinstrumente, zu denen dann eben auch die Mathematik gehört, zur Außenwelt kompatibel sind, eine Idee übrigens, die noch die „Widerspiegelungstheorie" des Marxismus-Leninismus geprägt hat. Sie bringt das Problem zum Verschwinden, hat aber, folgerichtig weitergedacht, doch recht merkwürdige Konsequenzen, wie sie etwa Popper (1973, 288/289) zieht:

> Das alles läßt sich so ausdrücken, daß der Erkenntnisfortschritt das Ergebnis eines Vorgangs ist, der dem sehr ähnlich ist, was Darwin 'natürliche Auslese' nannte; es gibt also eine **natürliche Auslese von Hypothesen***:* unsere Erkenntnis besteht zu jedem Zeitpunkt aus denjenigen Hypothesen, die ihre (relative) Tüchtigkeit dadurch gezeigt haben, daß sie bis dahin in ihrem Existenzkampf überlebt haben, einem Konkurrenzkampf, der die untüchtigen Hypothesen ausmerzt.
>
> Diese Interpretation läßt sich auf das tierische Wissen, das vorwissenschaftliche Wissen und die wissenschaftliche Erkenntnis anwenden. Das Besondere der wissenschaftlichen Erkenntnis ist, daß der Existenzkampf durch die bewußte und systematische Kritik unserer Theorien erschwert wird. Während also das tierische und das vorwissenschaftliche Wissen hauptsächlich dadurch wächst, daß diejenigen, die untüchtige Hypothesen haben, selbst ausgemerzt werden, läßt die wissenschaftliche Kritik oft unsere Theorien an unserer Stelle sterben; sie merzt dann unsere falschen Vorstellungen aus, ehe wir selbst ihretwegen ausgemerzt werden.
>
> Damit möchte ich beschreiben, wie die Erkenntnis tatsächlich fortschreitet. Ich meine es nicht bildlich, obwohl ich Bilder verwende. Die Erkenntnistheorie, die ich vorschlagen möchte, ist weit gehend eine darwinistische Theorie des Erkenntnisfortschritts. Von der Amöbe bis Einstein ist der Erkenntnisfortschritt immer derselbe: wir versuchen, unsere Probleme zu lösen und durch Auslese zu einigermaßen brauchbaren vorläufigen Lösungen zu kommen.

Auch wenn man nicht der eher grotesken Vorstellung einer Einheitlichkeit im Erkenntnisvorgang „von der Amöbe bis Einstein" anhängt, sondern damit erst beim Urmenschen beginnt, so bringt die These, der Mensch habe sich durch immer bessere Anpassung seiner Vorstellungen und Verhaltensweisen an die Natur vervollkommnet,

> das Kunststück fertig, im schulpflichtigen mitteleuropäischen Großstädter den eigentlichen Naturmenschen zu sehen, oder seriöser formuliert: sie verklärt die bestehende soziale und materielle Wirklichkeit ideologisch zum Naturzustand. Greiff (1976, 60)

Die modernen Erkenntnisinstrumente, insbesondere also die Mathematik, werden gewissermaßen als zur biologischen Grundausstattung gehörig erklärt. Diese Vorstellung ist nicht nur falsch, sondern in höchstem Maße diskriminierend: SchülerInnen, die mathematische Fähigkeiten nicht im geforderten Maße entwickeln, wird damit so etwas wie ein genetischer Defekt unterstellt.

Damit die Kontroverse klar wird, formuliere ich in aller Kürze die Gegenposition, die am historischen Material noch zu belegen sein wird:

---

[1] Es bleibt bei wissenschaftstheoretischen Erörterungen oft in der Schwebe, ob sie deskriptiv oder normativ gemeint sind, ob sie also den Anspruch erheben, die Wissenschaft zu beschreiben, wie sie ist, oder aber wie sie sein sollte, um dem Anspruch gerecht zu werden, wirklich Wissenschaft zu sein.

- Die Mathematik prägt die Wirklichkeit, die sie beschreiben soll, mindestens ebenso, wie umgekehrt die Wirklichkeit die zu ihrer Strukturierung und Analyse entwickelte Mathematik prägt.
- Nicht nur die Mathematik ist eine Kulturleistung, sondern ebenso die auf ihr beruhende Naturerkenntnis.
- (Mathematische) Naturgesetze werden durch eine bestimmte Methode (mathematische Modellbildung) hervorgebracht, die den Denkformen unserer, der bürgerlichen Gesellschaft entspricht. Weder die Methode noch ihre Resultate sind kulturunabhängig.

Nicht in Frage gestellt ist damit die Objektivität naturwissenschaftlicher Erkenntnisse im Sinne ihrer Unabhängigkeit von den Erkenntnissubjekten, *die sich auf die mathematisch-naturwissenschaftliche Methode einlassen*. Diese Methode für ein geeignetes Mittel der Naturerkenntnis zu *halten*, ist jedoch ein Spezifikum der bürgerlichen Gesellschaft, deren Aufstieg mit dem der mathematischen Naturwissenschaft zusammenfällt.[2] Um die Abhängigkeit von der Gesellschaftsform deutlich zu machen, spricht Greiff (1976) deshalb von der objektiven Erkenntnis*form*, die es nur in der einen, vom neuzeitlichen Europa ausgehenden Kultur gegeben hat, welche heute allerdings global geworden ist.[3]

Ein Beispiel: Das Fallgesetz

Mehr als jeder Physiker nach ihm sah sich Galileo Galilei (1564 – 1642) genötigt, die von ihm erstmals verwendete mathematisch-naturwissenschaftliche Methode seinen Zeitgenossen gegenüber zu rechtfertigen. Schließlich musste er sich gegen die mittelalterlichen Vorstellungen, die sich auf Aristoteles beriefen, erst durchsetzen. Ist dagegen eine Methode einmal etabliert und in ihrer Fähigkeit, objektive Naturgesetze zu entdecken, anerkannt, so entfällt der Zwang, ihre Verwendung zu rechtfertigen. Die Schriften Galileis sind daher besonders geeignet, die Frage nach den spezifischen Eigenheiten mathematischer Naturerkenntnis, wie sie in der Kontroverse zwischen der empiristischen Position und der hier formulierten Gegenposition zum Ausdruck kommt, zu diskutieren.

Besonders einfach ist das mit Galileis Namen verbundene Fallgesetz, das genau genommen aus zwei voneinander unabhängigen Gesetzen besteht:

1. Alle Körper fallen gleich schnell.
2. Beim Fall aus der Ruhelage verhalten sich die zurückgelegten Strecken wie die Quadrate der Zeiten

Mit dem ersten Fallgesetz ist in der Wissenschaftsgeschichtsschreibung das **Experiment von Pisa** eng verbunden, das im Jahre 1590 durchgeführt worden sein soll:

[2] Der Frage, ob dem offenkundigen zeitlichen und räumlichen Zusammenhang zwischen mathematischer Naturwissenschaft und unserer auf Warenproduktion und Geldvergesellschaftung beruhenden spezifischen Gesellschaftsform ein innerer, kausaler Zusammenhang korrespondiert, wird hier nicht weiter verfolgt. Vgl. dazu Ortlieb (1998)

[3] In diesem Sinne spielen Unterschiede etwa zwischen dem modernen Japan und dem modernen Mitteleuropa, die nicht bestritten werden sollen, für die hier in Rede stehende Frage keine Rolle. „Andere" Kulturen als die unsere wären vielmehr im alten Japan, im alten China oder auch im europäischen Mittelalter zu suchen.

> An dieser Stelle müssen wir auf die berühmten Experimente zum Fall der Körper zu sprechen kommen, sind diese doch aufs engste verknüpft mit dem schiefen Turm von Pisa, einem der kuriosesten Baudenkmäler Italiens. Beinahe zweitausend Jahre zuvor hatte Aristoteles behauptet, daß im Falle zweier verschiedener Gewichte gleichen Materials, die aus gleicher Höhe fielen, das schwerere den Erdboden vor dem leichteren erreiche, und dies gemäß dem Verhältnis ihrer jeweiligen Schwere. Das Experiment ist gewiß nicht schwierig; nichtsdestoweniger *war niemand auf die Idee gekommen, einen derartigen Beweis zu führen,* weshalb diese Behauptung kraft des Machtwortes des Aristoteles unter die Axiome der Wissenschaft von der Bewegung aufgenommen worden war. Galilei forderte nun unter *Berufung auf die Sinneswahrnehmung* die *Autorität des Aristoteles* heraus und behauptete, daß die Kugeln in gleicher Zeit fielen, abgesehen von einer unbedeutenden, auf dem unterschiedlichen Luftwiderstand beruhenden Differenz. Die Aristoteliker verspotteten diese Idee und verweigerten ihr das Gehör. Galilei aber ließ sich nicht einschüchtern und beschloß, seine Gegner dazu zu zwingen, gleich ihm *der Tatsache ins Auge zu sehen*. Daher bestieg er eines Morgens *vor der versammelten Universität - Professoren und Studenten -* den schiefen Turm, zwei Kugeln mit sich führend, eine zehn- und eine einpfündige. Er legte sie auf den Rand des Turms und ließ sie zugleich fallen. Und sie fielen gemeinsam und *schlugen gemeinsam am Boden auf.* (J.J. Fahie. Galilei, His Life and Work, London 1903, 24 f., zitiert nach Koyré (1998, 124), Hervorhebungen C.P.O)

Bis weit in das 20. Jahrhundert hinein gehörte diese Geschichte zur Allgemeinbildung. Sie kam 60 Jahre nach dem beschriebenen Vorfall erstmals auf und wurde von späteren Wissenschaftshistorikern immer weiter ausgeschmückt. Es gibt nüchterne und ausgesprochen blumige Varianten, dies hier ist eine mittlere.[4]

Was einem ohne weitere historische Kenntnis auffällt, ist ihre Inkonsistenz: Was hätte die aristotelischen Professoren, denen hier ihr Dogmatismus vorgehalten wird, veranlassen sollen, zusammen zu laufen, wenn der jüngste, rangniedrigste und schlechtestbezahlte Hilfsmagister irrsinnige Experimente veranstaltet? Und in der Tat handelt es sich um eine Legende, die von vorne bis hinten falsch ist: Die Geschichte widerspricht allen Gebräuchen an Universitäten dieser Zeit (1590) und wohl auch noch heutiger Universitäten. Sie wurde von Galilei selbst nie erwähnt. Er aber, der die Kunst der Selbstdarstellung meisterhaft beherrschte, hätte sich wohl kaum die Gelegenheit entgehen lassen, sie zu erzählen, wenn sie denn stattgefunden hätte. Und schließlich:

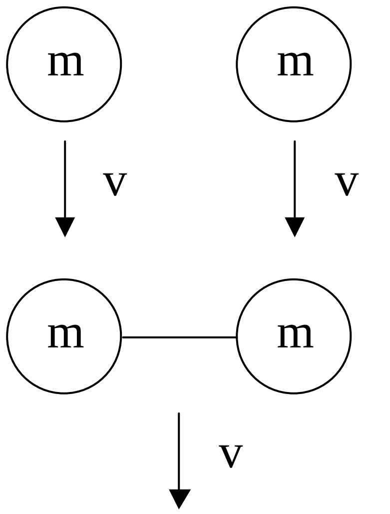
Die Experimente wären schief gegangen, bzw. sie wurden gemacht (1640, 1645, 1650), mit großen und kleinen Eisenkugeln, mit gleich großen Tonkugeln, eine massiv, die andere hohl, mit Kugeln aus verschiedenen Materialien, und sie *sind* (im Sinne des ersten Fallgesetzes) allesamt schief gegangen.[5]

Interessanter als die Legende selbst ist die Frage, warum sie aufkam und sich fast 300 Jahre lang als gewissermaßen „gesicherter Bestand unseres naturwissenschaftlichen Wissens" halten konnte.[6] Es handelt sich hier um einen *Mythos des Empirismus*, durch den eine Botschaft transportiert wird. Sie lautet: Die neuzeitliche Wissenschaft lässt unvoreingenommen die Tatsachen sprechen, während die mittelalterliche Wissenschaft sich auf Autoritäten beruft und Lehrbuchwissen tradiert. Dahinter steht die Vorstellung vom „finsteren Mittelalter", vor dessen Hintergrund die Vernunft und Rationalität der Neuzeit nur umso heller erstrahlen

[4] s. Koyré (1998, 124 – 128)
[5] s. Koyré (1998, 129 – 132)
[6] Das Original des hier zitierten, einem Sammelband entnommenen Artikels von Alexandre Koyré stammt aus dem Jahr 1937. In ihm dürfte die Legende des Experiments von Pisa erstmalig endgültig zu Fall gebracht worden sein

kann. Wenn auch die Botschaft so falsch ist wie die Legende, so handelt es sich doch nicht schlicht um Propaganda im Sinne bewusster Täuschung: Die Historiker, die die Legende aufnahmen und weiter ausschmückten, *glaubten* als gute Empiristen an die Erfahrung, und sie konnten daher gar nicht anders denken, als dass ein so elementares Ergebnis wie das Fallgesetz auf ihr beruhen muss.

Beweis des ersten Fallgesetzes



Fall gleicher Kugeln

Wenn nun aber das erste Fallgesetz nicht durch Erfahrung in die Welt kam, wie dann? Nun, es lässt sich mathematisch beweisen, und zwar so:

Zwei gleiche Kugeln müssen aus Symmetriegründen gleich schnell fallen. Das wird auch kein Aristoteliker bestreiten, anderenfalls müsste man ganz darauf verzichten, nach Naturgesetzen zu suchen. An der gemeinsamen Fallgeschwindigkeit wird sich nichts ändern, wenn ich die beiden Kugeln durch einen festen, aber ganz leichten bzw. „masselosen“ Stab miteinander verbinde. Dabei handelt es sich aber um einen Körper der *doppelten* Masse, der mit der *gleichen* Geschwindigkeit fällt. Diese Überlegung lässt sich ebenso auf drei, vier oder auch eine Milliarde Kugeln anwenden, woraus sich die Unabhängigkeit der Fallgeschwindigkeit von der Masse des schweren Körpers ergibt. Sobald ich also *beschließe*, auf die Gestalt der Körper, also ihre Massenverteilung komme es nicht an, folgt das erste Fallgesetz mit logischer Notwendigkeit.

Das Motiv für einen solchen Beschluss rührt nun aber aus einer ganz anderen Quelle als der Empirie: Es ist der Beschluss, eine *mathematische Theorie* entwickeln zu wollen, der zur Vereinfachung zwingt.

Das **zweite Fallgesetz** wird in Galileis *Discorsi* ausführlich behandelt, und auch hier sind es in keiner Weise irgendwelche sinnlichen Wahrnehmungen, die den Ausgangspunkt bilden. Das wäre allerdings auch sehr verwunderlich bei einem Gesetz, welches sich mit bloßem Auge schwerlich beobachten lässt. Tatsächlich handelt es sich um einen klassischen mathematischen Text in der Form Definition - Satz - Beweis. Zunächst wird die Definition der gleichförmigen Bewegung eingeführt,

> Ich nenne diejenige Bewegung gleichförmig, bei welcher die in irgendwelchen gleichen Zeiten vom Körper zurückgelegten Strecken unter einander gleich sind. Galilei (1638/1995, 141)

über die dann erst einmal einige Sätze bewiesen werden. Dann erfolgt der Übergang zur gleichförmig beschleunigten Bewegung, der zunächst verbal begründet wird:

> Bisher war die gleichförmige Bewegung behandelt worden, jetzt gehen wir zur beschleunigten Bewegung über. Zunächst muss eine der natürlichen Erscheinung genau entsprechende Definition gesucht und erläutert werden. Obgleich es durchaus gestattet ist, irgend eine Art der Bewegung beliebig zu ersinnen und die damit zusammenhängenden Ereignisse zu betrachten ..., so haben wir uns dennoch entschlossen, diejenigen Erscheinungen zu betrachten, die bei den frei fallende Körpern in der Natur vorkommen, und lassen die Definition der beschleunigten Bewegung zusammenfallen mit dem Wesen einer natürlich beschleunigten Bewegung.

> Wenn ich daher bemerke, dass ein aus der Ruhelage von bedeutender Höhe herabfallender Stein nach und nach neue Zuwüchse an Geschwindigkeit erlangt, warum soll ich nicht glauben, dass solche Zuwüchse in allereinfachster, Jedermann plausibler Weise zu Stande kommen? Wenn wir genau aufmerken, werden wir keinen Zuwachs einfacher finden, als denjenigen, der in immer gleicher Weise hinzutritt. Das erkennen wir leicht, wenn wir an die Verwandtschaft der Begriffe der Zeit und der Bewegung denken: denn wie die Gleichförmigkeit der Bewegung durch die Gleichheit der Zeiten und Räume bestimmt und erfasst wird ..., so können wir durch ebensolche Gleichheit der Zeittheile die Geschwindigkeitszunahmen als einfach zu Stande gekommen erfassen: mit dem Geiste erkennen wir diese Bewegung als einförmig und in gleicher Weise stetig beschleunigt, da zu irgend welchen gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeitszunahmen sich addiren. Galilei (1638/1995, 146/147)

Die Begründung nimmt nur insofern Bezug auf die Empirie, als festgestellt wird, dass ein schwerer Körper nach unten fällt und dass die Geschwindigkeit im Laufe seines Falles immer größer wird. Unter all den möglichen Geschwindigkeitsverläufen wird nun der einfachste ausgewählt (und als „natürlich" hingestellt). Das Prinzip der Einfachheit *ersetzt* die Empirie. Die Überlegungen münden in einer weiteren Definition:

> Gleichförmig oder einförmig beschleunigte Bewegung nenne ich diejenige, die von Anfang an in gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeitszuwüchse ertheilt. Galilei (1638/1995, 148)

Es folgen zwei mathematische Sätze. Der erste stellt eine Beziehung her zwischen der gleichförmig beschleunigten und der gleichförmigen Bewegung:

> Die Zeit, welche irgendeine Strecke von einem Körper von der Ruhelage aus mittelst einer gleichförmig beschleunigten Bewegung zurückgelegt wird, ist gleich der Zeit, in welcher dieselbe Strekke von demselben Körper zurückgelegt würde mittelst einer gleichförmigen Bewegung, deren Geschwindigkeit gleich wäre dem halben Betrage des höchsten und letzten Geschwindigkeitswerthes bei jener ersten gleichförmig beschleunigten Bewegung. Galilei (1638/1995, 158)

und dient letztlich als Hilfssatz für den Beweis des zweiten[7]:

> Wenn ein Körper von der Ruhelage aus gleichförmig beschleunigt fällt, so verhalten sich die in gewissen Zeiten zurückgelegten Strecken wie die Quadrate der Zeiten. Galilei (1638/1995, 159)

Offensichtlich handelt es sich hier um das zweite Fallgesetz, formuliert als ein mathematischer Satz über die gleichförmig beschleunigte Bewegung und als solcher ohne jeden Bezug auf die Empirie bewiesen. Diese bleibt nun keinesfalls außen vor, denn um aus dem mathematischen Satz ein *physikalisches* Gesetz zu machen, ist zu überprüfen, ob frei fallende Körper den gefundenen Gesetzmäßigkeiten genügen. Das aber geschieht notwendiger Weise nachträglich, und zwar nicht durch einfache Beobachtung, sondern durch ein Experiment. Diesen Unterschied sollte man nie übersehen.

> Auf einem Lineale, oder sagen wir auf einem Holzbrette von 12 Ellen Länge, bei einer halben Elle Breite und drei Zoll Dicke, war auf dieser letzten schmalen Seite eine Rinne von etwas mehr als einem Zoll Breite eingegraben. Dieselbe war sehr gerade gezogen, und um die Fläche recht glatt zu haben, war inwendig ein sehr glattes und reines Pergament aufgeklebt; in dieser Rinne liess man eine sehr harte, völlig runde und glattpolirte Messingkugel laufen.
>
> Nach Aufstellung des Brettes wurde dasselbe einerseits gehoben, bald eine, bald zwei Ellen hoch; dann liess man die Kugel durch den Kanal fallen und verzeichnete in sogleich zu beschreibender Weise die Fallzeit für die ganze Strecke: häufig wiederholten wir den einzelnen Versuch, zur genaueren Ermittlung der Zeit, und fanden gar keine Unterschiede, auch nicht einmal von einem Zehntheil eines Pulsschlages. Darauf liessen wir die Kugel nur durch ein Viertel der Strecke

[7] Auf die Beweise der beiden Sätze gehe ich hier nicht ein. Vom heutigen Standpunkt sind sie mit elementaren Mitteln der Analysis leicht durchführbar. Diese Mittel hatte Galilei jedoch nicht zur Verfügung. Aus wissenschaftshistorischer Sicht ist daher sein Vorgehen interessant. Erkennbar ist ein intuitiver Integralbegriff und ein Wissen um den „Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung" zumindest für die betrachteten Geschwindigkeitsverläufe.

> laufen, und fanden stets genau die halbe Fallzeit gegen früher. Dann wählten wir andere Strecken, und verglichen die gemessene Fallzeit mit der zuletzt erhaltenen und mit denen von 2/3 oder 3/4 oder irgend anderen Bruchtheilen; bei wohl hundertfacher Wiederholung fanden wir stets, dass die Strecken sich verhielten wie die Quadrate der Zeiten: und dieses zwar für jedwede Neigung der Ebene, d. h. des Kanales, in dem die Kugel lief. ...
>
> Zur Ausmessung der Zeit stellten wir einen Eimer voll Wasser auf, in dessen Boden ein enger Kanal angebracht war, durch den ein feiner Wasserstrahl sich ergoss, der mit einem kleinen Becher aufgefangen wurde, während einer jeder beobachteten Fallzeit: das dieser Art aufgesammelte Wasser wurde auf einer sehr genauen Waage gewogen; aus den Differenzen der Wägungen erhielten wir die Verhältnisse der Gewichte und die Verhältnisse der Zeiten, und zwar mit solcher Genauigkeit, dass die zahlreichen Beobachtungen niemals merklich von einander abwichen. Galilei (1638/1995, 162 ff)

Der unbefangenen, also nicht durch physikalische Schulversuche voreingenommen Leserin dürfte vor allem die absolute Künstlichkeit der Situation ins Auge springen. Hier wird nicht einfach beobachtet, sondern es wird mit großem Aufwand eine besondere Situation bewusst hergestellt, die herbei zu führen einem Laien niemals in den Sinn käme. Aus der Sicht der mathematischen Naturwissenschaft muss das auch so sein, geht es doch darum, den mathematischen Idealbedingungen möglichst nahe zu kommen, störende Einflüsse also auszuschalten. Aus der Sicht Außenstehender muss dieses Vorgehen die Aussagekraft der so gewonnenen Ergebnisse aber erheblich beeinträchtigen. Das Experiment (nicht die einfache Beobachtung) ist eine Erfindung der neuzeitlichen Naturwissenschaft, und niemand ist gezwungen, es als Erkenntnisinstrument zu akzeptieren. Ob die Natur sich außerhalb der künstlich geschaffenen Situation genauso verhält, darf schließlich mit Fug und Recht bezweifelt werden.

Verglichen mit der Physiksammlung einer normalen Schule sind die Bedingungen, unter denen Galilei experimentieren musste, einfach erbärmlich. Die Frage ist daher berechtigt, ob seine Darstellung der experimentellen Befunde nicht ein wenig geschönt ist. Es ist bekannt, dass Galilei sich hin und wieder des „Kunstgriffs“ bediente, bloß erdachte Experimente als wirklich durchgeführte darzustellen.[8] Auch hat er es nach Möglichkeit stets vermieden, für die Erdbeschleunigung einen konkreten Zahlenwert anzugeben. Wo er sich dazu doch genötigt sah, lag der Wert ungefähr bei der Hälfte des heute gültigen.

Wer einmal selber Experimente gemacht hat, weiß, dass die Natur durchaus sperrig sein kann und sich einfach weigert, den vorgesehenen Naturgesetzen zu folgen, manchmal muss man sie richtiggehend zwingen. Dieses Wissen droht verloren zu gehen, wenn Experimente zunehmend durch *Computersimulationen* ersetzt werden. Am Ende würde dann Physik nur noch in der Überlieferung tradierten und in Computerprogramme eingespeisten Wissens bestehen.

Galileis Zeitmessungen verweisen auf ein weiteres Problem: Jedes Experiment beruht u. a. auf einer *Theorie des Messinstruments*, ist also seinerseits theoretisch „vorbelastet“: Ob das Messinstrument das misst, was es messen soll, ist eine Frage, deren Beantwortung ihrerseits der mathematisch-experimentellen Methode unterliegt.[9]

---

[8] Koyré (1998, 129)

[9] Durch die Verfeinerung der Messinstrumente im Laufe der Entwicklung der Experimentalphysik wird dieses Problem nicht etwa behoben, sondern verstärkt. Präzisionsuhren etwa beruhen in weit höherem Maße auf physikalischen Theorien als Galileis einfache Konstruktionen. Denkbar ist daher, dass in Experimenten Messinstru-

Theorie und Wirklichkeit

Anders als seine dem Empirismus verhafteten Apologeten ist sich Galilei seines Vorgehens und der damit verbundenen Schwierigkeiten durchaus bewusst gewesen:

> In Betreff des Widerstandes des Mediums gestehe ich zu, dass dessen störender Einfluss bemerklicher sein wird, und wegen seiner mannigfach verschiedenen Beschaffenheit kaum unter feste Regeln gebracht werden kann; so lange wir auch nur den Widerstand der Luft berücksichtigen, so wird dieser alle Bewegungen stören, auf unendlich verschiedene Weise, da unendlich verschieden Gestalt, Gewicht und Geschwindigkeit der geworfenen Körper sich ändern könnten. Wenn z. B. die Geschwindigkeit größer ist, so wird auch der Einfluss der Luft wachsen, und das zwar um so mehr, je leichter die Körper sind, sodass, obwohl die Strecken bei senkrechtem Fall sich wie die Quadrate der Zeiten verhalten sollten, dennoch selbst die allerschwersten Körper von bedeutender Höhe herab solchen Widerstand von der Luft erfahren, dass die Beschleunigung gänzlich aufhört und die Bewegung eine gleichförmige wird; letzteres tritt um so früher ein, und von um so geringeren Höhen, je leichter die Körper sind. Auch die Horizontalbewegung, die ohne allen Widerstand gleichförmig und beständig sein müsste, wird durch den Luftwiderstand vermindert und schliesslich vernichtet, und zwar widerum um so schneller, je leichter der Körper ist Ueber alle die unendlich verschiedenen Möglichkeiten hinsichtlich der Schwere, der Geschwindigkeit und der Gestalt kann keine Theorie gegeben werden. Galilei (1638/1995, 224 ff)

Zum einen wird hier deutlich, dass Galilei sich wohl gehütet hätte, ein Experiment wie das ihm zugeschriebene vom schiefen Turm von Pisa wirklich auszuführen. Ohne die Möglichkeit, den Luftwiderstand auszuschalten, bleibt das erste Fallgesetz eine Fiktion. Zum anderen macht insbesondere der letzte Satz klar, dass der Zweck seines Vorgehens nicht auf die unmittelbar erfahrbare Wirklichkeit zielt, sondern in der Entwicklung einer mathematischen Theorie besteht. Um dahin zu kommen, muss von der Empirie auch einfach mal abgesehen werden können:

> Zeigt die Erfahrung nunmehr, daß solche Eigenschaften, wie wir sie abgeleitet, im freien Fall der Naturkörper ihre Bestätigung finden, so können wir ohne Gefahr des Irrtums behaupten, daß die konkrete Fallbewegung mit derjenigen, die wir definiert und vorausgesetzt haben, identisch ist: ist dies nicht der Fall, so verlieren doch unsere Beweise, da sie einzig und allein für unsere Voraussetzung gelten wollten, nichts von ihrer Kraft und Schlüssigkeit. Galilei, Brief an Carcaville 1637, zitiert nach Cassirer (1910/1994, 386)

In der modernen Terminologie mit der Mathematik als einem eigenständig gewordenen Fach heißt das, dass die Korrektheit mathematischer Schlüsse nicht von der Empirie abhängt, was heute als Selbstverständlichkeit gilt. Dass ein solches Vorgehen aber zugleich ein Instrument der Naturerkenntnis sein soll, wie es Galilei propagiert, und dass dieses Instrument inzwischen zu dem einzig anerkannten geworden ist, ist alles andere als selbstverständlich.

Wir sind als moderne Menschen an die grundlegenden Auffassungen und Prinzipien der neuzeitlichen Naturwissenschaft so gewöhnt, dass wir die Welt nur noch in ihrem Lichte sehen und deshalb meinen, sie aus Erfahrung und Beobachtung gewonnen zu haben.

> Uns entgeht die Waghalsigkeit Galileis, mit der er beschließt, die Mechanik als Zweig der Mathematik zu behandeln, also die wirkliche Welt der täglichen Erfahrung durch eine bloß vorgestellte Welt der Geometrie zu ersetzen und das Wirkliche aus dem Unmöglichen zu erklären. Koyré (1998, 73)

Aussagen über die Natur gegen alle Empirie aus mathematischen Begriffen wie Zeit, Raum und Bewegung abzuleiten, kann ihrerseits in keinem Sinne als „natürlich“ gekennzeichnet werden. Die hieraus entwickelte Naturauffassung, die uns so evident erscheint, wäre in der

---

mente eingesetzt werden, die auf eben jenen Theorien beruhen, die im Experiment überprüft werden sollen. Zum Problem mangelnder Aussagekraft von Experimenten vgl. Collins/Pinch (1999).

griechischen Antike und im Mittelalter als offenkundig falsch oder gar absurd eingestuft worden.[10]

Revolution der Denkart

Als Kronzeuge dafür, dass eine empiristische Begründung objektiver Erkenntnis unmöglich ist, da sich aus Erfahrung keine Naturgesetze zwingend ableiten lassen, lässt sich ironischerweise ausgerechnet der „Vater des Empirismus", David Hume (1711 - 1776) anführen:

> Denn alle Ableitung aus Erfahrung setzt als ihre Grundlage voraus, daß die Zukunft der Vergangenheit ähnlich sein wird, und daß gleichartige Kräfte mit gleichartigen sinnlichen Eigenschaften zusammenhängen werden. Schöpfte man irgendwie Verdacht, daß der Naturlauf sich ändern könne und daß in der Vergangenheit nicht die Regel für die Zukunft enthalten sei, so wäre jede Erfahrung nutzlos und könnte zu keinem Ableiten oder Schließen Veranlassung geben. Daher ist es unmöglich, daß irgendwelche Erfahrungsbegründungen diese Ähnlichkeit der Vergangenheit mit der Zukunft belegen können, denn all diese Begründungen beruhen ja auf der Voraussetzung dieser Ähnlichkeit. Hume (1748/1993, 37ff)

Der ehrliche Empirist muss zum Skeptiker werden, will er sich nicht selbst in die Tasche lügen:

> Mir scheint, daß die einzigen Gegenstände der abstrakten Wissenschaften oder der Demonstration Größe und Zahl sind, und daß alle Versuche, diese vollkommeneren Wissensarten über diese Grenzen hinaus zu erstrecken, nur Blendwerk und Täuschung bedeuten. Hume (1748/1993, 163)

Das hindert allerdings noch den modernen Empirismus nicht daran, es immer wieder zu versuchen und auf einer empiristischen Begründung aller naturwissenschaftlichen Erkenntnis zu beharren, so als habe Hume seiner Nachwelt ein ungelöstes (aber prinzipiell lösbares) Problem hinterlassen, welches allein auf empiristischer Grundlage anzugehen sei.[11]

Immanuel Kant (1724 - 1804), seinen eigenen Worten nach von Hume aus seinem „dogmatischen Schlummer" erweckt, argumentiert komplementär: Da objektive Erkenntnis offenbar möglich (zu Zeiten Humes und Kants eine Tatsache) ist, die Bedingungen ihrer Möglichkeit sich aber, wie Hume gezeigt hat, nicht aus der Empirie ableiten lassen, müssen sie a priori vorhanden, also aller Erfahrung vorgelagert sein:

> Als Galilei seine Kugeln die schiefe Fläche mit einer von ihm selbst gewählten Schwere herabrollen ... ließ ..., so ging allen Naturforschern ein Licht auf. Sie begriffen, daß die Vernunft nur das einsieht, was sie selbst nach ihrem Entwurfe hervorbringt, daß sie mit Prinzipien ihrer Urteile nach beständigen Sätzen vorangehen und die Natur nötigen müsse auf ihre Fragen zu antworten, nicht aber sich von ihr allein gleichsam am Leitbande gängeln lassen müsse; denn sonst hängen zufällige, nach keinem vorher entworfenen Plane gemachte Beobachtungen gar nicht in einem notwendigen Gesetze zusammen, welches doch die Vernunft sucht und bedarf. Die Vernunft muß mit ihren Prinzipien, nach denen allein übereinkommende Erscheinungen für Gesetze gelten können, in einer Hand, und mit dem Experiment, das sie nach jenen ausdachte, in der anderen, an die Natur gehen, zwar um von ihr belehrt zu werden, aber nicht in der Qualität eines Schülers, der sich alles vorsagen läßt, was der Lehrer will, sondern eines bestallten Richters, der die Zeugen nötigt, auf die Fragen zu antworten, die er ihnen vorlegt. Und so hat sogar Physik die so vorteilhafte Revolution ihrer Denkart lediglich dem Einfalle zu verdanken, demjenigen, was die Vernunft selbst in die Natur hineinlegt, gemäß, dasjenige in ihr zu suchen (nicht ihr anzudichten), was sie von dieser lernen muß, und wovon sie für sich selbst nichts wissen würde. Hierdurch ist die Naturwissenschaft

---

[10] vgl. Koyré (1998, 70 – 87)

[11] So etwa Karl Popper: „Ich glaube ein wichtiges philosophisches Problem gelöst zu haben, das Induktionsproblem. (Ich muß die Lösung etwa 1927 gefunden haben.)" (Popper 1973, 13). Gemeint ist sein Falsifikationsprinzip. Nun ist es sicher richtig, auf der logischen Ebene sogar trivial, dass sich Hypothesen empirisch nicht bestätigen, sondern allenfalls widerlegen lassen, das wusste bereits Hume. Ob dieses Prinzip aber irgendeine Relevanz für das *tatsächliche* Vorgehen der mathematischen Naturwissenschaft hat, ist damit nicht gesagt.

> allererst in den sicheren Gang einer Wissenschaft gebracht worden, da sie so viel Jahrhunderte durch nichts weiter als ein bloßes Herumtappen gewesen war. Kant (1787/1990, 17 ff)

Kant löst das Problem, an dem Hume zum Skeptiker wurde, wie nämlich objektive Erkenntnis möglich ist, indem er mit den „Prinzipien der Vernunft" eine *nichtempirische Basis* der Naturwissenschaft aufweist (das Kant'sche Apriori). Die Vernunft *bedarf* der Naturgesetze und sucht nach ihnen, indem sie nach ihren Prinzipien Experimente ersinnt, also aktive Eingriffe in die Natur, mit denen sie diese zu Antworten *nötigt*.

Geht man nun aber, anders als Kant das offenbar tat,[12] davon aus, dass „die Vernunft", von der hier die Rede ist, keine allgemein-menschliche, sondern vielmehr eine kulturell erworbene, damit aber an die jeweilige Gesellschaftsform gebundene Eigenschaft ist, so erhält auch der Begriff der „objektiven Erkenntnis" eine andere Bedeutung als die in unserem Sprachgebrauch übliche einer ahistorischen, für alle Menschen gleichermaßen gültigen. Ein Vertreter einer anderen oder früheren Kultur, der die Grundannahmen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Methode, die Prinzipien der bürgerlichen Vernunft nicht anerkennt, würde auch von der Wahrheit naturwissenschaftlicher Erkenntnis nicht zu überzeugen sein. Der einzige Bestandteil der Naturwissenschaft, den man ihm glaubhaft vorführen könnte, ist das Experiment: Wenn ich diese bis ins kleinste Detail festgelegte (dem anderen vermutlich rituell bis skurril anmutende) Handlung A ausführe, so stellt sich regelmäßig der Effekt B ein. Aber daraus folgt nichts weiter, solange mein Gegenüber meine Grundannahme der universellen Naturgesetze, die im Experiment angeblich zum Ausdruck kommen, nicht teilt, sondern das Naturgeschehen für willkürlich und regellos hält.

Kants Rede von der „Revolution der Denkart" trifft die Sache durchaus und sollte vielleicht ernster genommen werden, als er selbst das tut, auch in Hinblick auf zukünftige Entwicklungen. Warum schließlich sollte es die letzte Revolution dieser Art gewesen sein?[13]

Konsequenzen?

Der hier verfolgte Ansatz hat Konsequenzen über die Wissenschafts- und Erkenntnistheorie hinaus. Ich denke jedenfalls, dass es sie gibt, habe sie allerdings noch nicht wirklich durchdacht, sodass ich mich auf einige exemplarische und eher unzusammenhängende Andeutungen beschränken muss:

- Galileis Vorgehen, also die mathematisch-naturwissenschaftliche Methode, ist nach wie vor prototypisch für die **mathematische Modellbildung** und die bei ihrem Gebrauch zu beachtenden Regeln. Der Fehler, den die Erzähler der Legende von Pisa machten, tritt immer noch auf, mit der großen Verbreitung mathematischer Modelle wird er geradezu inflationär, ganze Wissenschaften „leben" von ihm. Wenn beispielsweise Studierenden der Volkswirtschaftslehre in ihren Lehrbüchern einfache mathematische Modelle vorge-

[12] In seiner *Kritik der reinen Vernunft* geht Kant auf diese Frage nicht explizit ein. Es ist denn auch eher der Sprachduktus, in dem das Aufklärungsdenken durchschlägt, etwas Natürliches, Allgemein-menschliches gefunden zu haben.

[13] 200 Jahre später scheint doch langsam die Einsicht zu dämmern, dass wir einer Lösung der Menschheitsprobleme durch naturwissenschaftliches Denken allein nicht näher kommen, vgl. dazu Pietschmann (1995).

führt werden, die angeblich das Funktionieren empirischer Märkte beschreiben, dann handelt es sich um dieselbe Art der Legendenbildung. Modelle sind Gedankenexperimente unter Idealbedingungen, allenfalls geeignet, wirkliche Experimente nach ihnen zu entwerfen. Wo das, wie in den Sozialwissenschaften, nicht möglich ist, kann jedenfalls die „Lösung", die Wirklichkeit einfach mit den Modellen zu identifizieren, nur Verwirrung stiften.

Deswegen muss dort auf den Einsatz mathematischer Modelle nicht verzichtet werden. Doch kann ihre Rolle in Wissenschaften, in denen es keine Laborversuche gibt, nicht dieselbe sein wie in der Physik. Als Denk- und Kommunikationsinstrumente können mathematische Modelle helfen, innertheoretische Fragen zu klären oder zumindest zu präzisieren. Sie können aber die (nichtmathematische) sozialwissenschaftliche Theorie nicht ersetzen, wie es offenbar von der herrschenden ökonomischen Lehre versucht wird.[14]

- Gibt es „inhaltliche" Erklärungen für die ausgeprägte **Männerdominanz** in den mathematischen Naturwissenschaften, die bekanntlich weit stärker ist als in anderen Wissenschaften? Sie hat bestimmt eine ganze Reihe von Gründen, männerbündische Mechanismen, mit denen Frauen draußen gehalten werden, gehören dazu, das will ich nicht bestreiten.[15] Sucht man aber nach Erkärungen, die in der Sache selbst liegen, so führt der empiristische Ansatz nicht weiter: Ginge es wirklich nur darum, objektive, gesellschaftsunabhängige Wahrheiten zu entdecken, so ist nicht einzusehen, warum sich Frauen davon weniger angezogen fühlen sollten als Männer. Ist dagegen, wie ich behaupte, mit der mathematisch-naturwissenschaftlichen Methode eine für unsere Gesellschaft bzw. deren öffentliche Sphäre spezifische, stark eingeschränkte Wahrnehmung der Wirklichkeit verbunden, so ließe sich schon eher eine geschlechtsspezifische Akzeptanz dieser Methode begründen:

  Greiff (1976) weist in seiner Analyse der in Lehrbüchern der Experimentalphysik geläufigen, imperativisch formulierten Vorschriften zur Ausführung von Experimenten darauf hin, dass die dort verlangte „Ausschaltung des subjektiven Faktors" eine Selbstzurichtung des erkennenden Subjekts erfordert, welche darin besteht, die eigene Körperlichkeit und eigene Empfindungen auszuschalten, gleichzeitig aber Beobachterstatus' und Analysefähigkeit aufrecht zu erhalten. Der „mathematische Blick" auf die Welt, wie er für die mathematische Modellierung kennzeichnend ist, stellt ähnliche Anforderungen. Die spezifische Form der mathematischen Naturerkenntnis setzt also ein (ebenso spezifisches) Subjekt voraus, welches sich in der beschriebenen Weise in „Gefühl" und „Verstand" spalten lässt. Die abzuspaltenden Anteile, die im Erkenntnisprozess nichts zu suchen haben, sind nun aber gerade diejenigen, die (in unserer Gesellschaft) mit dem Attribut „weiblich" konnotiert sind.[16]

[14] vgl. Krätke (1999)
[15] Frauenfeindliche Äußerungen „großer Naturwissenschaftler" sind fast nach Belieben zu haben, vgl. Pietschmann (1995, 248 ff, 333 ff)
[16] vgl Scheich (1993, 30 ff), Ortlieb (1998, 40 ff)

- In der Schule ist die mathematisch-naturwissenschaftliche Methode Thema wohl allein des **Physikunterrichts**, mit dem immer auch zugleich eine bestimmte Art der Wissenschaftstheorie transportiert wird, oft unbewusst, und in diesem Falle ist es immer die des wissenschaftlichen Mainstreams, also der Empirismus. Man möge einmal die für Kinder geschriebenen Physikbücher kritisch darauf untersuchen. Die *Auffassung* von der jeweils vermittelten Wissenschaft lässt sich aus Unterricht und Lehrbüchern nicht einfach heraushalten. Lehrende haben immer nur die Wahl zwischen mehr oder weniger reflektierten Varianten. Wer letzteren nicht aufsitzen will, muss die Frage nach dem Gehalt physikalischer Erkenntnisse ebenso thematisieren wie den Zusammenhang mit der Methode, die sie hervorgebracht hat. Dazu muss diese aber auch in ihrem vollen Umfang im Unterricht erscheinen. Die Beschränkung allein auf Experimente, die sich ohne die dazugehörigen mathematischen Vorüberlegungen gar nicht begründen ließen, reicht nicht aus. Noch schlimmer wäre es allerdings, sich auf Lehrbuchwissen und Computersimulationen zurückzuziehen und auf Experimente einfach zu verzichten. Der Lehrsatz „Physik ist, wenn's nicht klappt", den ich aus meinem nun schon 35 Jahre zurückliegendem Physikunterricht mitgenommen habe, ist vielleicht etwas übertrieben. Sein durch den Verzicht auf Experimente erreichbares Gegenteil, nämlich das Vorgaukeln einer nahtlosen Übereinstimmung von Theorie und Wirklichkeit, wäre allerdings nichts weiter als Ideologieproduktion.

- Die in diesem Band propagierte Idee, den **Mathematikunterricht** durch stärkere Bezüge zwischen Mathematik und Realität zu verbessern, wird auch von der Hoffnung getragen, damit SchülerInnen und Studierende für die Mathematik gewinnen können, die sich anders nicht erreichen lassen. Als angewandter Mathematiker habe ich diese These, seit ich lehre, immer vertreten, sie hat meine Sympathie. Ob sie wirklich aufrecht erhalten werden kann, erscheint mir vor dem Hintergrund der oben angestellten Überlegungen allerdings zweifelhaft: Zwar wird der Mathematikunterricht durch das Aufzeigen von Realitätsbezügen verändert und für manche auch interessanter. Andererseits kann er sich von der Sache her immer nur auf eine mathematisch bereits verformte Realität beziehen. Ob sich also Menschen für die mathematische Modellbildung gewinnen lassen, die nicht auch ohne sie von der Mathematik fasziniert sind, ist zumindest eine offene Frage.

  Das ist natürlich kein Plädoyer dafür, die Realitätsbezüge aus dem Unterricht wieder herauszunehmen, dafür gibt es schließlich gewichtige andere Gründe, insbesondere die Gesichtspunkte der Allgemeinbildung im Sinne eines besseren Verständnisses der „mathematisierten Gesellschaft".

Notiert wurden hier Fragen, keine Antworten. Die Botschaft allerdings, die bereits in den Fragen steckt, lautet, dass man ihren Antworten nur näher kommen kann, wenn man sich vom empiristischen Bild der mathematischen Naturwissenschaft verabschiedet und die schließlich nicht völlig problemlose Rolle der Mathematik in ihrem spezifischen Erkenntnisprozess wirklich ernst nimmt.

Literatur

Cassirer, E. (1910 / 1994). Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit, Erster Band, Nachdruck. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft

Collins, H. / Pinch, T. (1999). Der Golem der Forschung. Wie unsere Wissenschaft die Natur erfindet. Berlin: Berlin

Galilei, G. (1638 / 1995). Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nove scienze, Übersetzung von A. v. Oettingen, Nachdruck. Thun - Frankfurt: Deutsch

Greiff, B. v. (1976). Gesellschaftsform und Erkenntnisform. Zum Zusammenhang von wissenschaftlicher Erfahrung und gesellschaftlicher Entwicklung. Frankfurt: Campus

Hilbert, D. (1900 / 1998). Die Hilbert'schen Probleme. Vortrag "Mathematische Probleme", gehalten auf dem 2. Internationalen Mathematikerkongrß in Paris, 4. Aufl. Thun - Frankfurt: Deutsch

Hume, D. (1748 /1993). An Enquiry concerning Human Understanding, Übersetzung von R. Richter. Hamburg: Meiner

Kant, I. (1787 /1990). Kritik der reinen Vernunft, 2. Auflage, Nachdruck. Hamburg: Meiner

Koyré, A. (1998) Leonardo, Galilei, Pacal. Die Anfänge der neuzeitlichen Naturwissenschaft. Frankfurt: Fischer

Krätke, M. R. (1999). Neoklassik als Weltreligieon?. In: Loccumer Initiative kritischer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Die Illusion der neuen Freiheit. Realitätsverleugnung durch Wissenschaft. Hannover: Offizin

Ortlieb, C. P. (1998): Bewusstlose Objektivität. Aspekte einer Kritik der mathematischen Naturwissenschaft. In: Krisis 21/22, 15 - 51

Pietschmann, H. (1995). Das Ende des naturwissenschaftlichen Zeitalters. Stuttgart: Weitbrecht

Popper, K. R.(1973). Objektive Erkenntnis. Ein evolutionärer Entwurf. Hamburg: Hoffmann und Campe

Scheich, E. (1993). Naturbeherrschung und Weiblichkeit. Pfaffenweiler: Centaurus

Prof. Dr. Claus Peter Ortlieb
Zentrum für Modellierung und Simulation
Fachbereich Mathematik der Universität Hamburg
Bundesstraße 55
20146 Hamburg