

Zeitschrift:	Studia philosophica : Schweizerische Zeitschrift für Philosophie = Revue suisse de philosophie = Rivista svizzera della filosofia = Swiss journal of philosophy
Herausgeber:	Schweizerische Philosophische Gesellschaft
Band:	20 (1960)
Artikel:	Indeterminismus und Freiheit in unvollständig beschriebenen Systemen
Autor:	Bonsack, François
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-883398

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: 03.02.2026

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

Indeterminismus und Freiheit in unvollständig beschriebenen Systemen¹

von François Bonsack

In einer Theorie wie der klassischen Mechanik kann man zwei Elemente unterscheiden:

1. den Zustand zu einer bestimmten Zeit t_0 , der durch eine gewisse Anzahl physikalischer Größen beschrieben wird,
2. die Differentialgleichungen, welche die Entwicklung dieses Zustandes im Laufe der Zeit beschreiben.

Man kann sich einen beliebigen Anfangszustand geben; wenn dieser aber festgesetzt ist, ist dadurch der Zustand zu jeder Zeit bestimmt: die Differentialgleichungen der klassischen Mechanik ergeben ein einziges und ein eindeutiges Resultat für jeden Augenblick t_n . Es herrscht also hier strenger Determinismus.

Es ist keineswegs a priori sicher, daß jede physikalische Theorie in gleicher Weise deterministisch sein wird. Und es gibt in der Tat Theorien, die nicht in diesem Sinn deterministisch sind, unter anderen die Quantenmechanik, die den heute bekannten Tatsachen besser angepaßt ist als die klassische Mechanik.

Doch ist deswegen die Idee einer deterministischen Theorie nicht etwa unbrauchbar geworden. Erstens, weil an ihr manches klarer wird; auch wenn unsere Welt nicht determiniert sein sollte, würden wir doch etwas lernen bei der Untersuchung einer hypothetischen determinierten Welt. Auch der Maxwellsche Dämon, obwohl er vermutlich physikalisch unmöglich ist, kann dennoch pädagogisch nützlich sein, denn an ihm wird einem klar, wieso die kinetische Energie der Moleküle für uns als mechanische Energie nicht verwertbar ist.

Zweitens muß man zwingende Gründe haben, um eine Theorie, die sich bewährt hat, aufzugeben. Solange der Determinismus nicht

¹ Vortrag, gehalten vor der Schweizerischen Gesellschaft zur Pflege der Logik und der Philosophie der Wissenschaften.

zu unlösbaren Schwierigkeiten führt, solange man die physikalischen Tatsachen in einer Weise deuten kann, die mit ihm vereinbar ist, hat man keinen Grund, ihn aufzugeben. Selbstverständlich darf dann die deterministische Interpretation nicht zu unnatürlich und gezwungen sein (wie z.B. die mechanistischen Deutungen des Elektromagnetismus).

Drittens ist der Satz vom ausreichenden Grunde in uns so verwurzelt, daß wir uns eine Ausnahme dazu kaum vorstellen können. Daß etwas ohne Grund, ohne Ursache geschehen sollte, ist uns so fremd und unverständlich, wie daß etwas aus dem Nichts entstehen sollte. Eine deterministische Theorie wird unseren Drang nach Erklärung und nach rationalem Verständnis der Welt besser befriedigen als eine indeterministische. – Das ist natürlich kein Grund, zu behaupten, die Welt müsse determiniert sein und jede indeterministische Theorie sei a priori zu verwerfen. Ich sage nur: wenn es möglich ist, ohne den Tatsachen Gewalt anzutun.

Wir fragen deshalb: gibt es heute zwingende Gründe, den Determinismus aufzugeben? Gibt es in der heutigen Wissenschaft Tatsachen, die sich mit ihm nicht vereinen lassen? Sind die modernen indeterministischen Theorien im Rahmen einer determinierten Welt unverständlich? – Wir werden versuchen, zu zeigen, daß der Determinismus seine volle Gültigkeit behalten kann, wenn man die Grenzen nicht überschreitet, welche die klassische Mechanik selbst ihm vorschreibt.

Die klassische Mechanik ist nämlich nicht überall und zwangsläufig deterministisch. Sie ist es erst, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind: Erstens muß der Anfangszustand mit absoluter Genauigkeit bekannt sein (d.h. alle physikalischen Größen, die nötig sind, um ihn vollständig zu beschreiben). Zweitens muß das System geschlossen sein, oder, wenn es offen ist, müssen all seine Wechselwirkungen mit der Umgebung samt dem Zeitpunkt ihres Eintreffens genau festgelegt sein.

Wenn diese beiden Bedingungen erfüllt sind, werden wir das System *vollständig beschrieben* nennen. Der klassische Determinismus ist also nur in vollständig beschriebenen Systemen gültig.

So wird klar, was mit dem Titel dieses Artikels gemeint ist: es soll hier untersucht werden, was geschieht, wenn die eine oder die andere dieser Bedingungen nicht erfüllt ist, d.h. bei unvollständig beschriebenen Systemen.

Diese zerfallen somit in zwei Klassen: die geschlossenen, unvollständig beschriebenen Systeme, und die offenen Systeme, deren Wechselwirkungen mit anderen Systemen nicht festgelegt sind. Wir werden sehen, daß die indeterministischen Theorien sich sehr natürlich in die eine oder die andere Klasse einordnen lassen, ohne daß man den klassischen Determinismus aufzugeben hätte.

Es werden nun im folgenden beide Klassen nacheinander untersucht werden.

A. Die geschlossenen, unvollständig beschriebenen Systeme.

Indeterminismus ist nicht gleich Freiheit.

Die meisten indeterministischen Theorien beschreiben solche Systeme. Der Anfangszustand wird unvollständig oder ungenau bestimmt; somit können auch deterministische Differentialgleichungen keine eindeutigen Resultate ergeben. Beispiele für solche Fälle gibt es unzählige. Die kinetische Gastheorie ist eines: man kennt vom Zustand des Systems nur Gesamt- und Mittelwerte, wie der Druck oder die Temperatur, nicht aber die Geschwindigkeit und die Lage der einzelnen Moleküle. Somit kann man den Zustand des Systems zu einer bestimmten Zeit nicht mit absoluter Genauigkeit und Sicherheit berechnen: die einzelnen Fluktuationen lassen sich nicht voraussagen.

Man braucht nicht einmal so weit zu suchen. In jedem praktischen Problem aus der Mechanik geht man von einem Zustand aus, der nur mit einer begrenzten Genauigkeit gemessen werden konnte. Somit ist die Zukunft des Systems nur innerhalb gewisser Grenzen bestimmt. Die praktische Mechanik ist deshalb niemals streng deterministisch.

Schließlich kann man fast die ganze Wahrscheinlichkeitsrechnung hier einreihen, wenn sie auch meistens nicht von Differentialgleichungen zum Ausrechnen zukünftiger Zustände Gebrauch macht: sie ist mehr statisch als kinetisch. Aber auch sie geht von unvollständig beschriebenen Zuständen aus: z.B. von Kartenspielen, bei denen die Anordnung der Karten nicht bekannt ist, oder von Urnen, in denen die Lage der schwarzen und der weißen Kugeln dem Zieher verborgen bleibt. Es ist somit gar nicht erstaunlich, daß man über das Ergebnis von Operationen an solchen Systemen meistens keine bestimmten Voraussagen machen kann.

Ich werde mich hier mit diesen kurzen Hinweisen begnügen. Nur

eines möchte ich noch bemerken: einem geschlossenen System gegenüber, sei es vollständig oder unvollständig beschrieben, kann es für einen außenstehenden Menschen keine Freiheit geben. (Wir sprechen hier von der Freiheit, von außen auf die Evolution eines Systems einen Einfluß auszuüben.)

Es ist eine ziemlich verbreitete Meinung, daß die statistischen und indeterministischen Theorien dadurch, daß sie den strengen Determinismus etwas lockern, eventuell besser mit der menschlichen Freiheit vereinbar wären. Das ist vielleicht zum Teil richtig, aber jedenfalls nicht immer. Es gibt einen Indeterminismus ohne Freiheit, und zwar eben für geschlossene, unvollständig beschriebene Systeme (vorausgesetzt, daß wir nicht miteingeschlossen sind). Wir können ja nicht auf ein System einwirken, das geschlossen ist (oder: dadurch, daß wir auf es einwirken, hört es auf, ein geschlossenes System zu sein). Zum Beispiel ist die kinetische Gastheorie indeterministisch. Aber die Fluktuationen fügen sich nicht unserem Willen, wir können sie nicht willkürlich bestimmen.

Dieses Beispiel zeigt klar, daß es zum Determinismus zwei Gegensätze gibt: Zufall und Freiheit, die gar nicht identisch sind. Etwas ist zufällig, wenn es indeterminiert ist, aber sich nicht von uns näher determinieren läßt (d.h. wir haben nicht die Wahl zwischen den verschiedenen Möglichkeiten). Zufall und Indeterminismus können unsere Freiheit noch mehr einschränken als Determinismus, der uns wenigstens eine sichere Voraussage gestattet und somit die Möglichkeit gibt, uns anzupassen. Kurz: Indeterminismus ist nicht gleich Freiheit. Die Gleichsetzung kann die ganze Diskussion Determinismus gegen Freiheit nur verdunkeln und unlösbar verstricken.

B. Die offenen, unvollständig beschriebenen Systeme

Auch hier gibt es Fälle, wo unsere Freiheit sich nicht entfalten kann. Offene Systeme sind solche, die mit anderen in Wechselwirkung stehen. Solange aber wir selber nicht eines dieser anderen Systeme sind, hilft uns die Offenheit des Systems nicht viel. Zum Beispiel kann das Sonnensystem als geschlossenes System gelten, weil es so weit von allen anderen Systemen entfernt ist, daß deren Wirkung vernachlässigt werden kann. Somit ist die Bewegung der Planeten streng determiniert; man kann die Mond- und Sonnenfinsternisse für Jahrhunderte im voraus berechnen. Und die Astro-

nomie war immer das bevorzugte Beispiel einer deterministischen Wissenschaft. Doch kann die Abgeschlossenheit des Sonnensystems durchbrochen werden, z.B. durch einen auswärtigen Kometen. Dann werden sich die Berechnungen der Astronomen nicht mehr bestätigen. Wenn man solche Ereignisse mit in Betracht zieht, wird die Astronomie zu einer indeterministischen Wissenschaft. Aber auch hier ist für unsere Freiheit kein Platz: ein Komet kann die Bewegung der Planeten stören, aber nicht nach unseren Wünschen. Die Offenheit eines Systems genügt also noch nicht, um unsere Freiheit zu garantieren. Das System muß *gegen uns* offen sein, *mit uns* in Wechselwirkung stehen.

Sind jetzt alle Bedingungen erfüllt? – Ja, theoretisch. Aber praktisch nicht. Es genügt nicht, daß ein System mit uns in Wechselwirkung steht; es kommt auch darauf an, wie groß unsere Wirkung auf das System ist. Theoretisch können wir die Bewegung des Mondes beeinflussen, wenn wir Massen an der Oberfläche der Erde verschieben, oder wenn wir mit einer Taschenlampe gegen ihn leuchten. Aber diese Einflüsse sind so klein, daß die Änderungen nicht bemerkbar sind. Somit befindet sich der Mond im Verhältnis zu uns in einem quasi-geschlossenen System. Trotz der scheinbaren Paradoxie sind wir aus einem System praktisch ausgeschlossen, in dem wir selbst drin stehen.

In anderen Fällen kann man ein System schon beeinflussen, aber nicht genug, um das zu erreichen, was man will. Zum Beispiel können wir einen Zug, der mit einer Geschwindigkeit von 100 km in der Stunde fährt, wohl bremsen, aber wir sind nicht frei, ihn auf einer Strecke von 10 Metern anzuhalten, weil dort eine Bombe auf dem Geleise liegt. Es gibt Unmögliches und Unabwendbares, auch in Systemen, die wir merklich beeinflussen können.

Es gibt schließlich noch einen Fall, bei dem unsere Einwirkung versagt, obgleich wir das System prinzipiell beeinflussen könnten: es ist der der finalisierten Systeme. Hier wird unsere Einwirkung durch eine Gegenwirkung genau kompensiert. Zum Beispiel wollen wir ein Zimmer abkühlen, das mit einer Heizung und einem Thermostat versehen ist. Versuchen wir, es abzukühlen, indem wir ihm Kalorien entziehen, dann wird die Heizung durch den Thermostat eingeschaltet und die Abkühlung kompensiert; solange wir die Möglichkeiten der Heizung nicht übersteigen, werden wir seine Temperatur nicht senken können. Ein offenes System kann also

doch determiniert sein, wenn es mit einer finalisierten Einrichtung versehen ist. Ganz unberührt ist es aber nicht geblieben; dadurch, daß man es abgekühlt hat, hat man es gezwungen, seine Energie-reserven zu brauchen; es mußte für seinen Widerstand und seine Unabhängigkeit zahlen.

Wir können also zusammenfassend sagen, daß ein System offen und in Wechselwirkung mit uns sein muß, damit wir es nach unserem Willen beeinflussen können, daß dies aber keine ausreichende, sondern bloß eine notwendige Bedingung ist.

Die Quantenmechanik als Physik offener Systeme

Wenden wir uns nun einem bestimmten Beispiel zu: wie steht es mit der Quantenmechanik? Läßt sie sich in eine unserer Klassen einordnen? Und in welche?

Im Gegensatz zur kinetischen Gastheorie gehört sie vor allem in die zweite Klasse; sie beschreibt offene Systeme. Das tritt ganz deutlich hervor, wenn man die Artikel wieder liest, die Bohr der Interpretation der Quantenmechanik gewidmet hat. Er schreibt nämlich²: *Die Definition des Zustandes eines physikalischen Systems, wie gewöhnlich aufgefaßt, verlangt das Ausschließen aller äußeren Beeinflussungen. ... Sonst kann von Kausalität im gewöhnlichen Sinne keine Rede sein.* Das kann man nicht anders verstehen als etwa so: Der Determinismus ist nur für geschlossene Systeme gültig.

Nun ist es so, daß man kein System beobachten kann, ohne mit ihm in Wechselwirkung zu stehen. Ein wirklich geschlossenes System ist auch für unsere Beobachtung geschlossen. In der klassischen Mechanik, wo man mit makroskopischen Massen zu tun hat, kann die Störung des Systems durch die Beobachtung vernachlässigt werden. Für Mikrosysteme darf man das aber nicht; nach dem sogenannten Quantenpostulat von Bohr fordert jede Beobachtung atomarer Phänomene eine nicht zu vernachlässigende Wechselwirkung mit dem Messungsmittel. Man steht also vor dem Dilemma: entweder hat man ein geschlossenes, determiniertes System, aber dann kann man es nicht beobachten; oder man hat ein offenes System, das man beobachten kann, aber es ist nicht determiniert.

² Bohr, N.: Das Quantenpostulat und die neuere Entwicklung der Atomistik, Naturwissenschaften 16; 245–257 (1928).

Man wird natürlich die zweite Möglichkeit wählen, wenn man den Kontakt mit der Erfahrung nicht ganz verlieren will. Man kann also den Gedanken von Bohr etwa folgendermaßen umschreiben: der Indeterminismus der Quantenmechanik kommt von der Tatsache her, daß sie nicht wie die klassische Mechanik geschlossene, sondern offene Systeme beschreibt. Man könnte seine Deutung mit dem Satz bezeichnen: Die Quantenphysik ist eine Physik offener Systeme.

Quantenmechanik und Freiheit

Wie steht es nun mit der Freiheit? Läßt die Quantenmechanik mehr Raum für unsere Freiheit als die klassische Mechanik? Pauli sagte einmal in einer Diskussion über die Quantenmechanik³: «Ich gehe von einem Gedankenbild aus, welches die Freiheit des Beobachters mit aufnimmt.» Diese Aussage verdient unsere volle Aufmerksamkeit; ich glaube nämlich, daß viele Physiker die sogenannte Kopenhagener Interpretation z.T. deshalb schätzen, weil sie in ihr die Möglichkeit sehen, den Widerspruch zwischen der menschlichen Freiheit und dem physikalischen Determinismus zu lindern oder gar aufzuheben. Sie sind z.T. Indeterministen um ihrer Freiheit willen. Ist diese Hoffnung gerechtfertigt? Ich glaube: ja. Die Quantenmechanik beschreibt offene Systeme. Diese Systeme müssen mit einem Beobachtungsmittel in Verbindung gesetzt werden. Es kommt aber darauf an, was man messen will, genauer: mit welchem Apparat man das offene System verbindet. Die Entwicklung des Systems hängt also ab von der freien Wahl, die der Beobachter hat, sein Beobachtungsmittel zu bestimmen. Die Quantenmechanik läßt somit dem Beobachter eine gewisse Freiheit. Und zwar nicht, weil sie statistisch indeterministisch ist, sondern weil sie offene Systeme beschreibt.

Erweiterung auf andere offene Systeme

Nun drängt sich die Frage auf: ist der Indeterminismus nicht eine allgemeine Eigenschaft der Theorien, die offene Systeme beschreiben? Die klassische Mechanik ist deterministisch, wenn sie auf geschlossene Systeme angewandt wird. Könnte sie nicht, genau wie die Quanten-

³ Pauli, W.: *Dialectica* 30 (Bd. 8, Nr. 4), S. 122 (1954).

mechanik, für offene Systeme indeterministisch und mit der menschlichen Freiheit verträglich werden? Die Antwort auf diese Frage ist: ja.

Nehmen wir z.B. einen Billardtisch mit mehreren Kugeln und mit einer harten, glatten Unterlage. Stoßen wir eine Kugel an: sie wird wahrscheinlich andere Kugeln treffen, und diese wieder andere. Wenn die Reibung und der Luftwiderstand null wären, würde sich diese Bewegung fortsetzen und alle Kugeln sehr komplizierte Bahnen verfolgen, wie etwa die Gasmoleküle in einem Behälter. Solange das System geschlossen ist, sind die Bewegungen der Kugeln streng determiniert; man könnte sie im voraus berechnen, wenn die Lage aller Kugeln und der ursprüngliche Stoß genau bekannt wären. Aber dieser Determinismus wird sofort aufgehoben, wenn man das System öffnet, d.h. wenn man eine zusätzliche Kugel auf den Tisch legt, die Form des Randes ändert, eine Kugel stößt oder stilllegt. Dadurch wird die zukünftige Bewegung der Kugeln geändert; die Vorberechnung stimmt nicht mehr.

Man kann also in den Determinismus eingreifen und ihm einen anderen Lauf geben. Offene Systeme lassen sich von uns beeinflussen, sie lassen uns die freie Wahl. Wir müssen also untersuchen, ob wir nicht meistens mit offenen Systemen zu tun haben, die unsere Freiheit zulassen würden.

Diese Frage müssen wir noch einmal bejahen. Es gibt zwar geschlossene oder quasi-geschlossene Systeme, wie das Sonnensystem oder die meisten astronomischen Systeme. Wenn diese geschlossenen Systeme die Ereignisse unseres Lebens bestimmen würden, wie die Astrologen meinten, wäre es aus mit unserer Freiheit. Aber unsere Umwelt besteht im allgemeinen aus Systemen, die mit uns in Wechselwirkung stehen, die von uns beeinflußt werden können, die also offen sind. Solche Systeme gewähren uns eine gewisse Freiheit, sie sind nicht im voraus determiniert; wir können auf sie einwirken und sie mehr oder weniger gestalten, wenn sie nicht finalisiert sind und einen aktiven Widerstand leisten.

Wenn man sie etwas näher untersucht, merkt man bald, daß alle Argumente für unsere Freiheit sich auf offene Systeme beziehen. Wir haben z. B. den Eindruck, daß wir auf unsere Umwelt einwirken können, daß sie nicht unabhängig von unserem Willen determiniert ist, daß es darauf ankommt, was wir tun werden. Das läßt sich ohne weiteres verstehen, wenn diese Umwelt gegen uns

offen ist. Wir beweisen unsere Freiheit, indem wir unseren Arm nach Belieben heben und senken. Wenn unser Arm kein geschlossenes System ist, ist es auch nicht determiniert; so ist es gar nicht erstaunlich, daß wir ihn frei bewegen können. Vielleicht hat die Freiheit erst einen Sinn, wenn wir offenen Systemen gegenüberstehen, und dann liegt ihm kein Determinismus im Weg. Es scheint also alles gut zu gehen: die Freiheit läßt sich mit dem Determinismus in Einklang bringen: die Freiheit gilt für offene Systeme, der Determinismus für geschlossene.

Das Schließen der offenen Systeme

Ich zweifle aber, daß diese Lösung den Leser wirklich befriedigen wird. Jedenfalls genügt sie mir nicht. Und ich werde versuchen, sie als *advocatus diaboli* anzugreifen, etwa mit folgenden Worten:

«Sie wollen dieses uralte Problem mit einigen Worten lösen. Ihre Lösung ist doch zu einfach und fragwürdig. Sie reden von offenen Systemen, denen der Mensch gegenübersteht. Nun gut: hier haben Sie vielleicht recht. Aber das Hauptproblem liegt anderswo. Sie sollten wissen, daß ein offenes System etwas Unvollständiges ist, daß man es ergänzen sollte, indem man in einem großen System alle Systeme einschließt, mit denen es in direkter oder indirekter Wechselwirkung steht. Man erhält dann eine Gruppe von Systemen, die sich nur untereinander beeinflussen, die also ein geschlossenes Gesamtsystem bilden, für welches der Determinismus wieder voll gültig ist. Sie behandeln die Sache so, daß der Mensch offenen Systemen gegenübersteht. Man kann sie aber auch so behandeln, daß der Mensch samt den offenen Systemen in einem geschlossenen großen System eingegliedert ist. In diesem Fall tritt der Determinismus wieder voll in Kraft: der Mensch ist middeterminiert. Es ist keine Kunst, die Freiheit des Menschen zu sichern, wenn man ihn von vornherein aus dem Gesamtdeterminismus herausnimmt und nur seine Umwelt als offenes System beschreibt. Wenn Sie uns überzeugen wollen, müssen Sie sich dem eigentlichen Problem zuwenden und erklären, wie Sie sich die Freiheit in einer determinierten Welt vorstellen.»

Das war der Einwand des *advocatus diaboli*. Jetzt müssen wir versuchen, auf diesen schwerwiegenden Einwand eine Antwort zu finden.

Fangen wir bei der Quantenmechanik an. Wenn ihre Deutung als Physik offener Systeme richtig ist, sollte es möglich sein, das beob-

achtete System so zu ergänzen, daß es geschlossen werden könnte. In der Tat wird bei jeder Messung so verfahren. Man kann die Mikrosysteme nicht beobachten, ohne sie zu stören. Und die Art der Störung hängt von der Meßeinrichtung ab, die man gewählt hat. Man wird also genauere Voraussagen machen können, wenn man den Meßapparat berücksichtigt, d.h. wenn man das Gesamtsystem Mikroobjekt und Meßapparat beobachtet. Dieses Gesamtsystem ist aber nicht mehr dem Bohrschen Quantenpostulat unterworfen: da der Apparat makroskopisch ist, kann man das Ergebnis der Messung beobachten, ohne es zu stören. Deshalb ist das Gesamtsystem Mikroobjekt–Meßapparat wieder ein quasi-geschlossenes System: unsere Freiheit ist verschwunden.

Somit ist die Quantentheorie nur in erster Annäherung eine Physik der offenen Systeme. Sobald der Physiker sich entschließt, irgend etwas zu messen, verbindet er das Mikrosystem mit einem makroskopischen Meßapparat, um ein quasi-geschlossenes, determiniertes System zu erhalten. Es kann keine wirkliche Wissenschaft der offenen Systeme geben; sie wäre allzu indeterminiert. Sogar wenn die Systeme ihrem Wesen nach offen sein müssen, schließt man sie, indem man sie künstlich mit anderen Systemen kuppelt; erst dann können sie Gegenstand einer Wissenschaft werden.

Destouches kommt zu ähnlichen Resultaten. Er stellt fest, daß das Mikrosystem s nicht deterministisch beschrieben werden kann, auch wenn man verborgene Parameter heranzieht. Dies wurde von von Neumann und nach ihm von vielen anderen bewiesen.

Jedoch kann man diesen Beweis nicht mehr erbringen, wenn man nicht das System s , sondern das Paar Mikrosystem–Meßapparat in Betracht zieht. Dieses Paar läßt also eine deterministische Beschreibung durch verborgene Parameter zu. Es läßt auch dem Beobachter keine Freiheit mehr. Destouches schreibt⁴:

«Une fois l'appareil choisi et la mesure commencée, l'observateur ne dispose plus daucun arbitraire concernant la suite du processus expérimental engagé. Le couple système physique–appareil évolue de ce fait comme un objet déterminé indépendamment de toute observation et peut être décrit d'une manière totalement objective.»

⁴ Destouches, J.-L., in Louis de Broglie: Physicien et Penseur, Albin Michel, Paris (1953).

Diese Ergebnisse bestätigen die unsern: die Zukunft des offenen Systems s hängt von den Entscheidungen des Beobachters ab und bleibt somit unbestimmt; das Gesamtsystem Apparat–Mikrosystem ist aber quasi-geschlossen, determiniert, und ist der Willkür des Beobachters nicht mehr unterworfen. Dadurch ist es jedoch nicht absolut determiniert geworden: die Theorie bleibt statistisch, aber nicht mehr, weil das Gesamtsystem offen ist (es ist ja quasi-geschlossen), sondern weil sein Anfangszustand nicht genau bekannt ist. (Das System s wird in einer unkontrollierbaren Weise gestört; doch hängt diese Störung vom unbekannten Anfangszustand des Meßapparates ab⁵.) Wir befinden uns also wieder im ersten Fall: unvollständig beschriebenes geschlossenes System; die Quantenmechanik wird der kinetischen Gastheorie gleichwertig. Somit wird auch eine deterministische Beschreibung mit Hilfe verborgener Parameter möglich; der Beweis von von Neumann gilt nur für offene Systeme.

Auch eine etwas merkwürdige Tatsache läßt sich in diesem Zusammenhang besser verstehen, nämlich daß der Vorgang der Messung *klassisch* beschrieben wird, und nicht etwa in der Sprache der Quantenmechanik. Dies wurde oft so gedeutet, daß man sich der Sprache der Alltagsphysik bedienen muß, um die Brücke zwischen der Theorie und dem Experiment zu schlagen. Diese Erklärung ist wenig überzeugend. Man kann jedes Experiment in der Sprache der Relativitätstheorie beschreiben – warum sollte man es nicht in der Sprache der Quantenmechanik tun können? Diese Frage hat neuerdings wieder im Symposium «Observation and Interpretation» zu Diskussionen Anlaß gegeben⁶. Man kann aber diese Notwendigkeit anders deuten: die Beschreibung eines Experiments ist klassisch, weil man hier mit dem geschlossenen System Apparat und Mikrosystem zu tun hat. Die Beschreibung des Mikrosystems allein ist aber nicht klassisch, weil dieses offen ist.

Schließlich können wir versuchen, den Begriff *Komplementarität* etwas zu präzisieren.

Nehmen wir ein offenes System s. Dieses System ist indeterminiert,

⁵ Der Indeterminismus röhrt aber nicht nur von der Störung durch die Beobachtung her. Wenn man z.B. lange Wellen braucht, ist die Störung klein; der Indeterminismus kommt dann von der Unmöglichkeit, den Anfangszustand von s genau zu bestimmen.

⁶ Observation and Interpretation. Butterworths Scientific Publications, London (1957).

solange man nicht festgesetzt hat, welchen Einflüssen es unterliegen wird. Man kann es aber schließen, indem man alle Systeme zusammenfaßt, die mit ihm direkt oder indirekt in Wechselwirkung stehen. Fassen wir all diese Systeme zu einem großen offenen System u zusammen, das wir *Umwelt* nennen können. s und u bilden *per definitionem* zusammen ein großes geschlossenes System S. Im Fall der Quantenmechanik ist u die Meßeinrichtung, die ja mit dem Mikrosystem s ein quasi-geschlossenes System bildet. Es sind aber mehrere Ergänzungen möglich: die Umwelt kann wechseln; in der Quantenmechanik kann das System mit verschiedenen Meßapparaten gekuppelt werden. Wir müssen also verschiedene Ergänzungen u_1, u_2, u_3 usw. unterscheiden. Die Umwelt (bzw. der Apparat) u_1 bildet mit dem System s das geschlossene System S_1 , die Umwelt u_2 das System S_2 usw. Wir können das mit folgender Zeichnung schematisieren:

$$\begin{array}{rcl} & + u_1 = S_1 \\ s & + u_2 = S_2 \\ & + u_3 = S_3 \end{array}$$

Abb. 1

Es kann nur eines von diesen Systemen S auf einmal realisiert sein: man kann unmöglich zugleich S_1 und S_2 haben. Das heißt noch nicht, daß u_1 und u_2 miteinander unverträglich sind; manchmal sind sie es und manchmal nicht. Wenn sie miteinander verträglich sind, bilden sie aber mit s nicht die Systeme S_1 und S_2 , sondern ein neues System $S_{1,2}$. Wenn sie hingegen miteinander unverträglich sind, ist $S_{1,2}$ unmöglich. Die Systeme S schließen sich also gegenseitig aus. Aber solange wir nur das System s und noch nicht bestimmt haben, mit welcher Umwelt (bzw. Apparat) es gekuppelt ist, stehen diese Systeme S_1, S_2 als Möglichkeiten nebeneinander.

Nehmen wir nun weiter an, daß s ein Mikrosystem ist, das uns unbekannt ist. Wir können es nur dadurch messen, daß wir es mit einem der Apparate u_1, u_2, u_3 usw. kuppeln. Was wir messen, ist aber der Zustand des Gesamtsystems S_1, S_2 usw. Wir kennen also das offene System s nur durch einander ausschließende geschlossene Systeme S_1, S_2 usw. Wenn u_1 und u_2 miteinander unverträglich sind, können wir diese Systeme, und somit die Apparate u_1, u_2 und die entsprechenden Größen *komplementär* nennen. Man kann nicht zwei

komplementäre Messungen miteinander ausführen; sie geben z.T. widersprechende Bilder, aber diese Bilder beziehen sich nicht auf dasselbe System s , sondern auf verschiedene Systeme S_1 , S_2 usw. So entstehen z.B. die einander z.T. widersprechenden Bilder der Partikel und der Welle⁷.

Die Untersuchung der Quantenmechanik scheint also ihre Deutung als Physik offener Systeme zu bestätigen; sie bestätigt aber auch den Einwand des *advocatus diaboli*: man kann offene Systeme ergänzen und schließen; dadurch unterjocht man sie wieder dem Determinismus. Der Einwand bleibt also immer noch ohne Widerlegung: wie ist die menschliche Freiheit möglich, wenn der Mensch Teil eines Systems bleibt, das determiniert ist? Unsere Antwort auf diese Frage lautet: Die Freiheit des Menschen wird nicht eingeengt durch den vollständigen Determinismus eines geschlossenen Systemes, das ihn selber und alles umfaßt, was er bei seiner Entscheidung in Betracht ziehen wird.

Sie wird erst eingeengt, a) wenn der Mensch nicht innerhalb, sondern außerhalb des geschlossenen Systems steht; b) wenn er einem finalisierten System gegenübersteht.

Zu a): Daß der Mensch auf ein geschlossenes System nicht einwirken kann, ist selbstverständlich. Doch muß man dabei bemerken, daß er oft imstande ist, ein geschlossenes System zu öffnen. Ein System ist selten außerhalb unserer Reichweite und unserer Handlungsmöglichkeiten. Fast nur die astronomischen Objekte sind solche unbeeinflußbare Systeme. So ist es verständlich, daß unsere Vorstellung vom Determinismus gerne die Form eines astrologischen Determinismus annimmt; unsere Freiheit wäre dann wirklich vernichtet.

Wenn der Mensch aber samt seiner Umwelt in einem geschlossenen System steht: was hindert ihn da, auf jene einzuwirken? Ein Bild wird das vielleicht noch deutlicher machen: man kann einen Menschen daran hindern, eine Birne zu essen, wenn man sie in ein Zimmer einschließt. Aber diese Maßnahme wird ihren Zweck verfehlen, wenn man den Menschen mit ins Zimmer einschließt. So ist es ungefähr mit der Umwelt: nichts hindert uns, auf sie einzuwirken, wenn wir mit ihr in einem System stehen, auch wenn dieses geschlossen ist.

⁷ Ich bin nicht sicher, daß diese Deutung genügt. Ich versuche nur, die Bohrsche Auffassung zu umschreiben.

Zu b): Die Vorstellung, die man sich vom Determinismus macht, nimmt nicht weniger gerne die Form eines finalen Determinismus an. Ein solcher Determinismus wäre am Platze, wenn wir nicht der Natur, sondern einem Tyrannen gegenüberstehen würden. Dieser könnte uns zwingen, nach einem von ihm bestimmten Plan zu handeln, indem er uns durch Strafen oder durch List dazu bringen würde, seinen Anordnungen Folge zu leisten.

Nichts kann aber in einer Wissenschaft wie der Physik den Glauben an einen Finaldeterminismus rechtfertigen. Der wissenschaftliche Determinismus ist kausal (wenn man von schüchternen und eher philosophischen Versuchen absieht, eine Finalität in die Biologie wieder einzuführen); ein solcher kausaler Determinismus kann erst eine Voraussage machen, wenn er die ganze kausale Kette kennt, die zum vorausgesagten Ereignis führt.

Von ihrer kausalen Kette losgelöste Orakel sind erst bei einem finalen Determinismus verständlich: wenn man für ein System einen bestimmten Zustand zur Zeit t_n voraussagt, ohne den genauen gegenwärtigen Zustand und die äußeren Einflüsse in Betracht zu ziehen, gibt es nur eine Möglichkeit, seine Erfüllung zu sichern: man muß das System korrigieren, wenn es sich anders entwickelt als vorgesehen war. Zum Beispiel kann man die Temperatur eines Systems, das wechselnden und unbekannten Einflüssen unterworfen ist, nur dann mit einiger Sicherheit voraussagen, wenn dieses mit einem Thermostat und einer Heizung versehen ist, die eventuelle Abweichungen kompensieren. So ist es auch mit der Natur. Man müßte sich etwa vorstellen, daß die Götter, oder das Schicksal, einen bestimmten Plan hätten, der verschieden vom spontanen Lauf der Dinge wäre, und daß sie immer wieder eingreifen würden, um die Welt nach ihrem Plan zu richten. Das kann nur auf Kosten der menschlichen Freiheit geschehen: der Mensch wird direkt oder indirekt dazu gebracht, etwas zu tun, das er nicht getan hätte, wenn alles seinen natürlichen Lauf behalten hätte. Wenn er unbewußt dazu gebracht wird, wie Ödipus, glaubt er frei zu handeln, trotzdem er eigentlich determiniert ist.

Erst in einer solchen finalistischen Weltanschauung wird die Gegenüberstellung Freiheit–Determinismus voll verständlich; ein finaler Determinismus ist wirklich nicht mit der Freiheit vereinbar; bei ihm ist das eventuelle Gefühl, frei zu handeln, nur eine Täuschung. Hingegen stößt man auf Schwierigkeiten, wenn man diese klassische

Theorie der Freiheit in der Perspektive eines kausalen Determinismus wieder finden will. Der vollständige kausale Determinismus ist nämlich identisch mit dem spontanen Lauf der Dinge; er braucht auf ihn keinen Zwang auszuüben, er braucht ihn nicht nach einem fremden Determinismus zu richten; er kann ihn freilassen. Der Gegensatz ist also hier nicht zwischen Determinismus und Freiheit, sondern zwischen einem eigenen, spontanen Determinismus wie dem kausalen und einem fremden, erzwungenen Determinismus wie dem finalen.

In den beiden hier kurz behandelten Fällen (geschlossene Systeme außerhalb des Menschen und finalisierte Systeme) ist die Einschränkung der Freiheit eine wirkliche. Nur muß man aufpassen, daß das System tatsächlich unwiderruflich geschlossen oder finalisiert sei. Sonst wird der Determinismus rein fiktiv und verliert jede Bedeutung.

Die fiktiven Determinismen

Man muß sich hüten vor solchen fiktiven Determinismen, deren es viele gibt. Oft glaubt man, den Determinismus zu widerlegen und die Freiheit zu beweisen, indem man einen solchen fiktiven Determinismus widerlegt; damit hat man aber den wirklichen Determinismus gar nicht getroffen, sondern nur den fiktiven.

Zu den fiktiven Determinismen muß man auch die Indeterminismen rechnen, die wir aufgezählt haben: derjenige der unvollständig beschriebenen geschlossenen und derjenige der offenen Systeme. Wenn man sie als Determinismen bezeichnet, hat man es leicht, zu zeigen, daß sie es nicht sind. Zum Beispiel: Zwei gleiche Systeme entwickeln sich verschieden. Das ist keine Widerlegung des Determinismus, solange die Systeme nur ähnlich und nicht identisch waren. Zum Beispiel kann ein Mensch anders handeln als ein gleicher Mensch in einer gleichen Situation. War die gesamte Lage aber wirklich identisch? Sie ist es sozusagen nie. Daß gleiche Menschen wirklich identisch seien, ist fast unmöglich: sogar zwei eineiige Zwillinge sind verschieden. Und auch wenn sie in ihren Anlagen identisch wären, werden entweder ihre Erfahrungen oder ihre augenblickliche Laune oder die äußere Lage nicht ganz gleich sein. *Alles* müßte identisch sein, damit der Determinismus widerlegt werde: die Anlagen, die Erziehung und die Erfahrungen, die Erinnerungen, die Laune, die äußere Lage. Selbst derselbe Mensch bleibt sich nie

identisch; er entwickelt sich, sammelt neue Erfahrungen; sogar die Erinnerung an eine frühere Entscheidung kann eine neue Entscheidung in einer sonst identischen Lage verändern. Wenn man nur einen Teil der Gesamtsituation in Betracht zieht, legt man sich einen fiktiven Determinismus zurecht. Solche Determinismen sind landläufig; wir werden einige näher bezeichnen.

Nehmen wir unser Schema zur Hand; wir haben einen Menschen s und seine Umwelt u ; beide sind offen und bilden zusammen das geschlossene System S . Den richtigen Determinismus kann man so beschreiben: *der Zustand von S zur Zeit t_n ist durch den Zustand von S zur Zeit t_0 eindeutig bestimmt*, oder: *Der Zustand der Systeme s und u zur Zeit t_n ist determiniert durch den Zustand der beiden Systeme s und u zur Zeit t_0 .* Man bekommt hingegen fiktive Determinismen, wenn man den Zustand von s oder von u zur Zeit t_n nur vom Zustand von s bzw. von u zur Zeit t_0 abhängig machen wollte, wie es z. T. zulässig wäre, wenn die beiden Untersysteme geschlossen wären (Abb. 2).

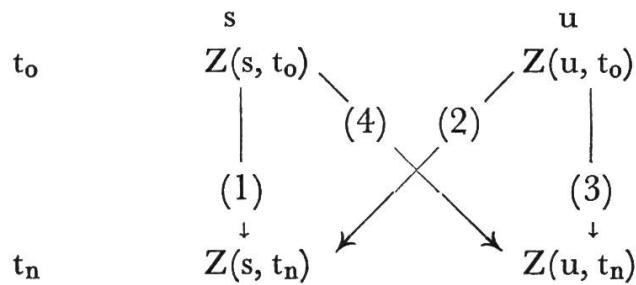


Abb. 2. Fiktive Determinismen

Es ist somit erstens falsch, zu behaupten, daß die Entwicklung des Menschen s nur durch seinen Anfangszustand determiniert sei, d.h. daß wir durch unsere Vererbung, unsere Anlagen, unsere Tendenzen blind getrieben seien. Wir werden durch unsere Außenwelt beeinflußt, wir lernen aus ihr, wir sind einer Erziehung fähig. Außerdem können wir unsere Handlungen der äußeren Lage (d.h. dem Zustand von u) anpassen; wir werden nicht von innen bestimmt, zu einer festgelegten Zeit eine bestimmte Handlung auszuführen, wie ein Automat von Jaquet-Droz. Kurz: es gibt weder einen erblichen noch einen psychologischen Determinismus. Wir werden schon z.T. von innen determiniert, aber nicht ausschließlich von innen.

Es ist zweitens auch falsch, zu behaupten, daß der Zustand des Menschen s nur durch den Anfangszustand der Außenwelt u bestimmt wird. Das heißt: wir sind nicht ausschließlich durch unsere

Umwelt, unsere Mitmenschen, unser soziales Milieu, unsere «Zeit» bestimmt. Wir sind nicht in der Lage eines Staubteilchens, das jedem Luftzug gehorchen muß und keine Mittel hat, sich seinem Schicksal zu entziehen. Wir können den äußeren Einflüssen einen gewissen Widerstand leisten. Kurz: es gibt keinen äußeren Determinismus des Menschen, und insbesondere keinen sozialen Determinismus, wenn man darunter versteht, daß der Mensch ausschließlich durch sein soziales Milieu bestimmt wäre.

Der Zustand der Umwelt u hängt drittens auch nicht nur vom Anfangszustand von u ab. Das heißt: die Entwicklung der Welt ist auch von unseren Entscheidungen abhängig, wir haben selber ein Wort mitzureden, wir können einen Einfluß auf die Geschichte ausüben. Es gibt also keinen Determinismus der Welt ohne uns.

Jedoch ist viertens die Freiheit des Menschen keine absolute: der Zustand der Umwelt u hängt nicht nur vom Zustand des Menschen s ab. Das heißt, die Freiheit des Menschen ist nicht die eines absoluten Gottes; die Welt bietet ihm einen Widerstand, mit dem er rechnen muß; er muß seine Mittel ihrem Zustand anpassen, um Erfolg zu haben; wie Francis Bacon sagt: man gebietet der Natur nur, indem man ihr gehorcht: *non, nisi parendo, vincitur*.

Die Freiheit des Menschen ist also beschränkt, vgl. Abb. 2(4), aber er hat doch die Möglichkeit, seine Umwelt weitgehend nach seinem Willen zu gestalten(3). Er wird weder ausschließlich von innen(1) noch ausschließlich von außen(2) determiniert. Er wird von innen *und* von außen determiniert. Es besteht ein dialektisches Verhältnis zwischen ihm und seiner Umwelt: er lernt von ihr und kann sich ihr anpassen, aber er gestaltet sie auch und unterjocht sie in einem gewissen Maße seinen Zwecken. Ich brauche hier kaum zu unterstreichen, wie sehr das in die Richtung der dialektischen oder offenen Philosophie von Gonseth geht.

Andere Determinismen sind fiktiv, sei sie ein System als geschlossen betrachten, während es in Wirklichkeit offen ist. Planck hat uns z.B. darauf aufmerksam gemacht, daß manche Systeme nicht mehr als geschlossen gelten können, sobald wir sie beobachten, geschweige denn, wenn wir ihnen das Resultat unserer Beobachtung mitteilen⁸. Hier hat man eine sehr ähnliche Situation wie in der

⁸ Planck, M.: Vom Wesen der Willensfreiheit, in Vorträge und Erinnerungen, Hirzel, Stuttgart (1949).

Quantenmechanik: man kann z. B. einen Menschen nicht beobachten, ohne ihn zu stören. Somit ist die experimentelle Psychologie in den meisten Fällen etwas Ähnliches wie eine Physik offener Systeme. Man versucht mit allen Mitteln, den Einfluß des Beobachters auszuschalten, indem man ihm vorschreibt, sich ganz passiv zu verhalten, oder indem man z. B. Kinder allein in einem Zimmer spielen läßt, das man überblicken kann, ohne gesehen zu werden.

Das wären also einige fiktive, unvollständige Determinismen.

Der wirkliche Determinismus wird hingegen *alles* in Betracht ziehen, und einem solchen Determinismus kann man nicht mehr ausweichen, denn auch die Ausweichversuche sind schon mitgerechnet. Man kann sich von seinem Determinismus wie von seinem Schatten nicht trennen. Man kann nicht aus seiner Haut fahren. Man kann nicht im gleichen Augenblick wollen und nicht wollen, seinen Arm heben und unbewegt lassen. Solche Handlungen schließen einander aus, wie die verschiedenen Ergänzungen der Quantensysteme einander ausschließen. Nur als *Möglichkeiten* bestehen sie nebeneinander, solange die Situation noch offen ist, solange sich der Mensch noch nicht entschieden hat. Bedeutet aber dieser vollständige Determinismus, dem wir nicht ausweichen können, daß wir keine Freiheit haben? – Keineswegs. Die Freiheit, anders zu handeln in einer identischen Situation, ist eine sinnlose Karikatur der echten Freiheit. Diese besteht darin, anders handeln zu können in einer vielleicht ähnlichen, aber jedenfalls identischen Situation, z.B. wenn man irgendeinen neuen Grund hat, anders zu handeln, oder wenn sich die äußere Lage geändert hat. Erst dann hat die Freiheit einen Wert und einen Sinn.

Ich wäre somit am Ende von dem, was ich hier und jetzt sagen wollte⁹ und werde nur noch versuchen, die Hauptpunkte in einigen Worten zusammenzufassen:

Der Determinismus ist nur in geschlossenen, vollständig beschriebenen Systemen gültig. Somit werden wir einen Indeterminismus haben:

a) in geschlossenen, unvollständig beschriebenen Systemen,

⁹ Ich will damit nicht etwa behaupten, ich hätte das Problem Determinismus–Freiheit endgültig gelöst. Diese Frage hat noch viele andere Aspekte, die ich gar nicht berührt habe. Ich habe nur versucht, einige Hindernisse wegzuschaffen, die sich im Zusammenhang mit den unvollständig beschriebenen Systemen behandeln ließen.

- b) in offenen Systemen, deren Wechselwirkungen mit ihrer Außenwelt nicht bestimmt sind.

Zur ersten Unterteilung gehört die kinetische Gastheorie. Zur zweiten gehört die Quantentheorie, insofern man das Mikrosystem allein betrachtet. Wenn man hingegen das geschlossene Gesamtsystem Mikroobjekt und Meßapparat beschreibt, fällt sie in die erste Unterteilung zurück.

Indeterminismus ist nicht gleich Freiheit. Geschlossenen Systemen gegenüber gibt es keine Freiheit, seien sie vollständig oder unvollständig beschrieben, d.h. determiniert oder indeterminiert. Die Quantenmechanik lässt aber der Freiheit des Beobachters Raum, weil sie offene Systeme beschreibt, deren Evolution von den Entscheidungen dieses Beobachters abhängen. Die klassische Mechanik verhält sich gleich, wenn sie offene und nicht geschlossene Systeme beschreibt. Offene Systeme können aber ergänzt und geschlossen werden. Damit lassen sie sich nicht mehr durch den Willen eines außenstehenden Menschen bestimmen. Aber dieses Schließen beeinträchtigt die Freiheit desjenigen Menschen nicht, der im System eingeschlossen ist, wenn seine Umwelt nicht finalisiert ist. Der kausale Determinismus ist ein spontaner Determinismus, der alles frei lässt. Wenn es manchmal anders scheinen will, so ist es, weil man von einem fiktiven, unvollständigen Determinismus Gebrauch macht.