

**Philosophisches Seminar der Universität Hamburg  
Prof. Dr. Ulrich Gähde  
Hausarbeit zur Zwischenprüfung**

**Eckehard Seidl**

**Experiment und wissenschaftlicher  
Realismus nach Ian Hacking**

**Rekonstruktion und Probleme**

# Zusammenfassung

Der von Ian Hacking in „Darstellen und Eingreifen“ vorgetragene wissenschaftliche Realismus wird rekonstruiert und die Probleme seines paradigmatischen Fallbeispiels werden herausgearbeitet. Es wird vorgeschlagen, Hackings Realismuskonzeption als Reflexion zur Veränderung des Verhältnisses von Beobachter und Realität in der modernen Physik zu verstehen.

## Inhalt

<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>Wissenschaftlicher Realismus</b>	<b>2</b>
Aspekte des Realismus	2
Bedeutung von Experimenten	3
<b>Ein paradigmatisches Beispiel</b>	<b>5</b>
Grundbegriffe	5
Das Experiment	7
Hackings Schlussfolgerung	9
<b>Diskussion</b>	<b>9</b>
Franklins Kritik	10
Entitäten in der Quantenmechanik	11
Werkzeug und Material	12
<b>Schluss</b>	<b>13</b>
<b>Abbildungen</b>	<b>15</b>
<b>Literatur</b>	<b>15</b>

# Einleitung

Welche Bedeutung hat das Experimentieren für den wissenschaftlichen Realismus? Mit dieser Frage hat sich Ian Hacking 1983 in seinem Buch „Representing and Intervening“<sup>1</sup> beschäftigt. Der Titel lautet übersetzt „Darstellen und Eingreifen“, womit die beiden Seiten des Realismus, sein Verhältnis zur Theorie und zur Praxis bezeichnet sind. Im ersten Kapitel des Buches definiert Hacking, was seinen Realismus ausmacht. Diese Positionsbestimmung werde ich am Anfang kurz zusammenfassen. Die vorliegende Arbeit stützt sich dann insbesondere auf das letzte Kapitel, das unter dem Titel „Experiment und wissenschaftlicher Realismus“ anhand der Diskussion eines paradigmatischen Fallbeispiels eine Art Fazit des Buches zieht.

Hacking stellt dar, auf welche Weise nach seiner Meinung Wissenschaftler Realisten sein müssen. Es handelt sich dabei um das Ergebnis einer wissenschaftstheoretischen Analyse und gleichzeitig um eine Erklärung seines eigenen Standpunktes. Er meint, dass wissenschaftliche Entitäten dann als real aufgefasst werden müssen, wenn sie in Experimenten als Mittel zur Untersuchung anderer Entitäten dienen können.

So beschreibt er z. B. an anderer Stelle seines Buches ein physikalisches Experiment, mit dem nach drittelzahligen elektrischen Ladungen von Quarks gesucht wurde. Ein beteiligter Wissenschaftler spricht davon, dass er Positronen „versprüht“, um die Ladung von kleinen Probekörpern zu beeinflussen. Ein Positron ist das Antiteilchen eines Elektrons und kommt in unserer normalen Umgebung fast nie vor, so dass man zumindest als Außenstehender seinen Realitätsstatus sicherlich in Frage stellen dürfte. Hacking prägt dazu den geflügelten Satz:

Was mich betrifft, gilt: Wenn man sie versprühen kann, sind sie real. [47]

Zuerst werde ich also Hackings Standpunkt referieren. Danach werde ich mich mit dem letzten seiner Fallbeispiele, einem physikalischen Experiment zum Nachweis der Verletzung der Parität bei der schwachen Wechselwirkung, beschäftigen. Hacking schildert engagiert die Umstände dieses Experiments und behauptet, dass sie seine Ansicht stützen. Dieses Fallbeispiel umfasst letztlich grosse Teile der modernen Physik. Ich werde nur den Hauptstrang des Experiments soweit notwendig erläutern und dann Hackings Darstellung und seine Schlussfolgerungen in verschiedener Hinsicht in Frage stellen. Meine These ist, dass Hackings Versuch, auf solche Weise eine Art von konstruktivem Realismus zu begründen, besonders für die moderne Physik aus verschiedenen Gründen nicht zum Ziel führt.

---

<sup>1</sup> Zitate stammen aus der deutschen Ausgabe von 1996, wobei ich auffallende Fehler der unglücklichen Übersetzung stillschweigend korrigiert habe. Die Seitenzahlen der deutschen Ausgabe stehen jeweils in den eckigen Klammern.

Bei einer solchen Kritik möchte ich aber nicht stehen bleiben. Hacking's Ansatz bleibt interessant und ich will versuchen herauszufinden, woran das liegt. Man kann den Text gegen seine vorgetragene Argumentation interpretieren und einen anderen Inhalt herausarbeiten.

Mein Text ist also wie folgt aufgebaut: Der erste Teil unter dem Titel „Wissenschaftlicher Realismus“ enthält Hacking's wissenschaftstheoretische Betrachtungen zum Realismus. Der zweite Teil unter dem Titel „Ein paradigmatisches Beispiel“ behandelt das Fallbeispiel, der nächste Teil seine Probleme und der Schluss soll eine Lösung anbieten, wie Hacking's Realismuskonzeption als Beitrag zur Wissenschaftstheorie der modernen Physik verstanden werden kann.

## Wissenschaftlicher Realismus

### Aspekte des Realismus

Bei einem Gegenstand, den wir direkt beobachten können, werden wir normalerweise nicht an seiner Existenz zweifeln. Das wird anders bei Dingen, die wir nur mittels Instrumenten beobachten können oder auf die wir sogar nur mittels theoretischer Betrachtungen schließen können. Von der letzteren Art sind z. B. die virtuellen Teilchen der Elementarteilchenphysik, deren prekäre Existenz schon in ihrer Bezeichnung ausgedrückt wird. Als *theoretische Entität* bezeichnet Hacking „Dinge, die von Theorien postuliert werden, ohne daß wir sie [direkt] beobachten können“ [52]. Im Fallbeispiel betrachtet Hacking die „theoretische Lieblingseintät des Philosophen“ [431], das Elektron.

Damit ist das Problem bezeichnet, auf das der Realismus antwortet:

Der *wissenschaftliche Realismus* besagt, daß die von richtigen Theorien beschriebenen Entitäten ... wirklich existieren. [43]

Der *Antirealismus* besagt: ... Die Elektronen sind etwas Fiktives. Theorien über sie sind Werkzeuge des Denkens. [43]

Hacking bezeichnet sich als Realist, aber er möchte noch einige Differenzierungen machen. Beide genannten Positionen beziehen sich auf Theorien, aber Hacking möchte mehr auf die Entitäten und die Praxis eingehen. Er unterscheidet zunächst Realismus in Bezug auf Theorien von Realismus in Bezug auf Entitäten:

Der *Theorien-Realismus* besagt, daß wissenschaftliche Theorien unabhängig von unserem Wissen entweder wahr oder falsch seien. [54]

Der *Entitäten-Realismus* besagt, daß eine Vielzahl theoretischer Entitäten wirklich existiert. [54]

Man erkennt, wie stark unterschiedlich diese beiden Seiten des Realismus zu sein scheinen.

Unter Bezug auf den Wissenschaftstheoretiker Newton-Smith benennt er dann drei mögliche Bestandteile des Realismus, einen ontologischen, einen kausalen

und einen erkenntnistheoretischen. Hacking's Theorien-Realismus sei danach ontologisch und erkenntnistheoretisch [55]<sup>2</sup>:

Wissenschaftliche Theorien sind entweder wahr oder falsch, und welches von beidem eine gegebene Theorie ist, beruht auf dem Sosein der Welt.

Zumindest prinzipiell ist es möglich, sich zu Recht auf Theorien zu verlassen. [55]

Der Theorien-Realismus ist dann das Thema des ersten Teils „Darstellen“ seines Buches und soll hier nicht weiter behandelt werden.

Hacking's Entitäten-Realismus sei kausal und erkenntnistheoretisch [56], was bedeute:

Wenn eine Theorie wahr ist, bezeichnen ihre theoretischen Terme Entitäten, auf die sich unsere möglichen Beobachtungen kausal zurückführen lassen. [56]

Zumindest prinzipiell ist es möglich, sich zu Recht auf Entitäten zu verlassen. [55]

Aber dies stimme noch „nicht genau“ [56], denn Hacking will die Rolle der Theorie eingeschränkter sehen:

Man kann an einige Entitäten glauben, ohne von einer spezifischen Theorie überzeugt zu sein, in die sie eingebettet sind. [56]

Nach Hacking ist also ein Elektron real, wenn es eine gerechtfertigte verlässliche theoretische Entität ist, auf die sich mögliche Beobachtungen kausal zurückführen lassen. Zwar gebe es eine bestätigte Theorie des Elektrons, aber entscheidend sei seine Verwendung in Experimenten:

Alles in allem führt die Tendenz dieses Buches fort vom Theorien-Realismus und hin zu einem Realismus in Bezug auf diejenigen Entitäten, die wir in der experimentellen Arbeit benutzen können. [57]

So kommt Hacking im zweiten Teil „Eingreifen“ des Buches schließlich zu der wichtigen Rolle, die Experimente für den Realismus spielen.

## **Bedeutung von Experimenten**

Ein Experiment ist oft ein Unternehmen zur Bestimmung von Eigenschaften einer theoretischen Entität. Nach Hacking bedeutet dies noch nicht, dass die untersuchte theoretische Entität schon als real angesehen werden muss. Ein solches Experiment dient also eher dem Theorien- als dem Entitäten-Realismus.

Hacking richtet aber nun die Aufmerksamkeit auf eine andere Seite des Experiments, auf diejenigen Entitäten, die im jeweiligen Fall als Werkzeug dienen und deren Eigenschaften benutzt werden:

Wir verstehen die Wirkungen, wir verstehen die Ursachen, und wir machen von diesem Gebrauch, um etwas anderes herauszufinden. [48]

---

<sup>2</sup> Die betreffende Textstelle auf S. 55 der deutschen Ausgabe enthält zwei sinnentstellende Fehler. Im englischen Original steht falsch „entities“ statt „theories“, woraufhin der Übersetzer die Sache noch verschlimmert hat, indem er „ontological“ durch „kausal“ ersetzte.

Es sind nach seiner Meinung diese Entitäten, deren Realität vorausgesetzt werden muss:

Durch Experimente an einer Entität wird man nicht verpflichtet, an ihre Existenz zu glauben. Erst wenn man eine Entität *manipuliert*, um an etwas anderem zu experimentieren, muß man das. [432]

Dazu muss man ein solches Experiment gar nicht ausführen, wir brauchen nur dazu im Stande zu sein:

Sobald wir das Elektron benutzen können, um andere Bereiche der Natur systematisch zu manipulieren, hat das Elektron aufgehört, etwas Hypothetisches, etwas Erschlossenes zu sein. Es hat aufgehört, theoretisch zu sein, und ist experimentell geworden. [432]

Der Realismus der Experimentalphysik sei in Bezug auf die benutzten Entitäten notwendig<sup>3</sup>:

Ich behaupte, dass sie gar nicht anders können. [432]

Millikan habe nicht an die Existenz der Elektronen glauben müssen, als er ihre Ladung maß [47]. Nachdem man aber einige Eigenschaften der Elektronen begriffen habe, bewirke schon die *vermutete Möglichkeit*, wie man sie als Werkzeug benutzen könnte [433], dass der Zweifel an den Elektronen ausgeschlossen wird [432].

Es sei die veränderte Einstellung zu den Elektronen, die ein Experimentator einnehmen müsse, die den Unterschied mache:

Elektronen sind nun nicht mehr nur eine Weise, unsere Gedanken zu ordnen oder die beobachteten Phänomene zu retten. Sie sind Mittel, in irgendeinem anderen Bereich der Natur Phänomene zu erzeugen. Elektronen sind Werkzeuge. [433]

Nicht nur die Elektronen haben sich verändert, sondern offenbar vor allem die Haltung der Wissenschaftler zu ihnen.

Eine solche veränderte Einstellung könne es für Theorien nicht geben. Die angestrebte Wahrheit von Theorien könne nicht in dem Sinne real werden wie eine Entität. Ja, es brauche über die real werdende Entität nicht einmal eine verbindliche Theorie zu geben. [434-5] Der Theorien-Realismus müsse

... sich die Peirceschen Prinzipien des Glaubens, der Hoffnung und der Liebe zu eigen machen. Der wissenschaftliche Entitäten-Realismus bedarf keiner derartigen Tugenden. Er geht aus dem hervor, was wir gegenwärtig zu leisten vermögen. [435]

Die Betonung liegt auch auf „gegenwärtig“, d. h. wir müssen nicht auf eine richtige Theorie warten und wir brauchen nicht wie bei Theorien ihre Ablösung durch andere zu fürchten. Allerdings kann sich die Einstellung des Wissenschaftlers vielleicht auch wieder ändern.

Die Realität sei kein Versuchsergebnis:

---

<sup>3</sup> Wegen der besondere Bedeutung dieses Zitats hier das englische Original [engl. 262]:

The vast majority of experimental physicists are realists about some theoretical entities, namely the ones they use. I claim that they cannot help being so. Many are also, no doubt, realists about theories too, but that is less central to their concerns.

(Das) experimentelle Argument für den Realismus ... besagt nicht, daß wir die Realität der Elektronen aus dem Gelingen unseres Versuchs folgern. [436]

Und sie sei auch nicht dadurch hergestellt,

weil wir das Verhalten unserer Apparatur vorhersagen. [436]

Oft funktionierten die Apparaturen nicht, das sei normal. Es reiche aus, wenn die Elektronen „oft genug“ erfolgreich als experimentelles Mittel verwendet werden könnten. [437]

## Ein paradigmatisches Beispiel

In dem von Hacking gewählten Fallbeispiel werden Elektronen benutzt, um Eigenschaften der sogenannten schwachen Wechselwirkung zu untersuchen. Das Argument ist: Man kann den Elektronen eine bestimmte sehr spezifische Eigenschaft geben und damit eine erwartete ungewöhnliche Wirkung hervorrufen. Deshalb müssen wir sie als real betrachten.

Hacking hätte viele andere Beispiele zur Realität des Elektrons wählen können. Im ausgewählten Fall wird auch nicht etwa zum ersten Mal die Existenz von Elektronen notwendig angenommen. Worauf es allerdings ankommt, ist die Fülle von Beziehungen zu Eigenschaften des Elektrons:

Bei einer knappen Beschreibung hört sich alles viel zu unkompliziert an. [443]

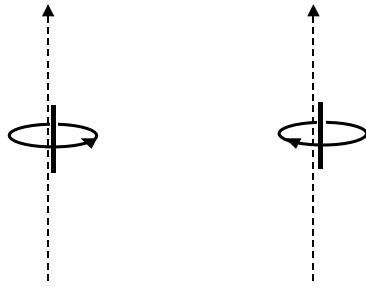
Hier soll das betreffende Experiment trotzdem nur sehr kurz dargestellt werden, soweit es für die Argumentation notwendig ist. In dem Experiment werden die Elektronen als Mittel benutzt, mit dessen Hilfe die schwache Wechselwirkung untersucht wird. Es werden polarisierte Elektronen erzeugt und so beschleunigt, dass sie auf Protonen treffen, wobei sie aufgrund der schwachen Wechselwirkung gestreut werden und dabei anzeigen, dass die Parität verletzt wurde. Die physikalischen Begriffe Polarisation, Parität und schwache Wechselwirkung sollen zuerst sehr vereinfacht erläutert werden.

## Grundbegriffe

Elektronen haben außer ihrer negativen Ladung noch eine weitere Eigenschaft, den Spin. Wenn man sie sich als sehr kleine Teilchen vorstellt, dann entspricht dem Spin eine kreiselartige Eigendrehung dieser Teilchen. Bei einem bewegten Elektron kann die Achse dieser Drehung quer zur Bewegungsrichtung stehen (transversale Polarisation) oder längs (longitudinale Polarisation). Im Zusammenhang mit dem hier besprochenen Experiment interessiert nur die letztere, wobei die Drehachse entweder in Bewegungsrichtung zeigen kann (Rechtsschraube) oder entgegengesetzt (Linksschraube)<sup>4</sup>:

---

<sup>4</sup> Sehr vereinfacht dargestellt besagt die Quantenmechanik des Elektrons, dass es keine „Zwischenstellungen“ zwischen diesen beiden Möglichkeiten gibt.

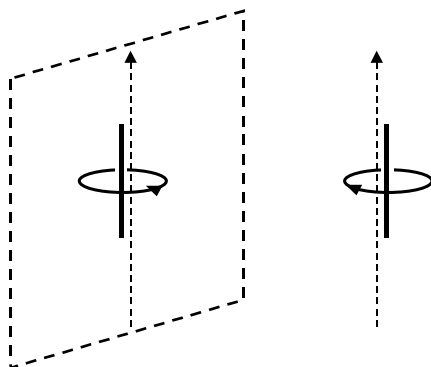


**Schema 1: Longitudinale Polarisation**

**Rechtsschraube      Linksschraube**

Außer in Fällen, bei denen sich die Drehrichtung aufgrund ihrer magnetischen Wirkung direkt bemerkbar macht, erwartete man ursprünglich, dass sich Elektronen aller möglichen Polarisationen in allen Wechselwirkungen mit anderen Teilchen völlig gleich verhalten. Dass dieses Symmetrieprinzip bei schwachen Wechselwirkungen nicht erfüllt ist, wie unten deutlich werden wird, war eine große Überraschung für die Physik.

Bei Spiegelung der longitudinalen Polarisation kehrt sich diese um:



**Schema 2: Parität**

**gespiegelt:                  original:**  
**Rechtsschraube          Linksschraube**

Bei Gegenständen, die nach einer Spiegelung nicht mehr deckungsgleich sind, spricht man davon, dass sie „eine Parität“ haben. Die longitudinale Polarisation ist also ein Beispiel für Parität, unterschiedlich longitudinal polarisierte Elektronen haben eine entgegengesetzte Parität. Wenn das Symmetrieprinzip in Bezug auf die Parität bei einer Wechselwirkung nicht erfüllt ist, spricht man davon, dass diese „die Parität verletzt“.<sup>5</sup> Das ist bei der schwachen Wechselwirkung der Fall.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Beispiele für Parität gibt es nicht etwa nur in der Physik. Alle biologischen Zucker sind linksdrehend, (fast) alle Menschen haben ihr Herz auf der linken Seite. Dabei  
 →



Die schwache Wechselwirkung ist eine der vier Grundkräfte der Physik, das sind, geordnet nach abnehmender relativer Stärke [Berger 2006, 4f]:

- 1 – die starke Wechselwirkung, die zwischen schweren Teilchen wie Protonen, die aus Quarks bestehen, wirkt,
- 2 – die elektromagnetische Wechselwirkung, die zwischen allen geladenen Teilchen wie Elektronen und Protonen wirkt,
- 3 – die schwache Wechselwirkung,
- 4 – die Gravitation, die zwischen allen Teilchen wirkt, die eine Masse besitzen.

Die schwache Wechselwirkung wirkt zwischen leichten Teilchen wie dem Elektron und schweren Teilchen wie dem Proton und wird durch den Austausch eines Bosons  $Z^0$ ,  $W^-$  oder  $W^+$  vermittelt. Bei hohen Energien vereinheitlicht sie sich mit der elektromagnetischen Wechselwirkung zur elektroschwachen Wechselwirkung, was erklärt, dass in dem hier beschriebenen Experiment sowohl eine elektromagnetische als auch eine schwache Wechselwirkung stattfinden kann.

## Das Experiment

Obwohl es Hacking nur um die Realität der als Mittel benutzten Elektronen geht, meint er:

Es sollte jedoch von Interesse sein, die gar nicht so schwer zu verstehende Bedeutung der Hauptresultate dieses Versuchs zu kennen, nämlich: (1) bei der Streuung polarisierter Elektronen an Deuterium bleibt die Parität nicht erhalten; (2) allgemeiner gesagt, bei schwachen Wechselwirkungen mit neutralem Strom wird die Parität verletzt. [438]

„Parität verletzt“ heißt, der Versuch läuft nicht gleich ab, wenn man ihn mit Elektronen unterschiedlicher Parität unternimmt.

In dem Experiment werden longitudinal polarisierte Elektronen auf eine Probe aus Deuterium beschleunigt. Der Kern der Deuteriumatome besteht aus zwei Protonen, jedes Proton aus drei Quarks und zwar zwei up-Quarks und einem down-Quark. Die hier interessierende Wechselwirkung findet zwischen einem Elektron  $e$  und einem Quark  $q$  statt und kann drei<sup>7</sup> verschiedene Formen haben (nach Schmüser [1995, 94-8]):

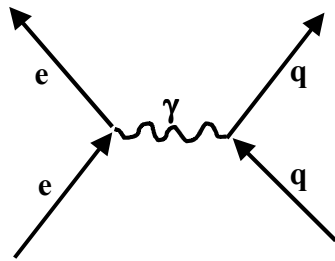
---

wird keine Parität verletzt, denn es gibt keinen Grund für diese Asymmetrie außer den Zufall der evolutionären Entwicklung.

<sup>6</sup> Zur Parität von Elektronen und der Paritätsverletzung bei der schwachen Wechselwirkung siehe z. B. Berger [2006, 137f] und Mayer-Kuckuk [1974, 254ff].

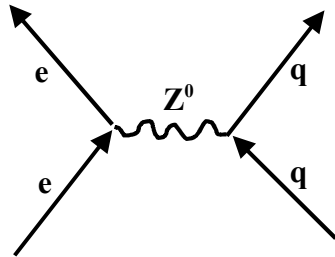
<sup>7</sup> Prozesse höherer Ordnung mit einem Austausch mehrerer Teilchen werden zur Vereinfachung nicht berücksichtigt. Ferner sind symmetrisch ähnliche Prozesse mit Positronen statt mit Elektronen möglich.

1 – Streuung aufgrund der elektromagnetischen Wechselwirkung, wobei ein Photon  $\gamma$  ausgetauscht wird. Dieses Ereignis tritt bei Elektronen beider Polarisationsrichtungen gleich häufig auf (Paritätserhaltung).



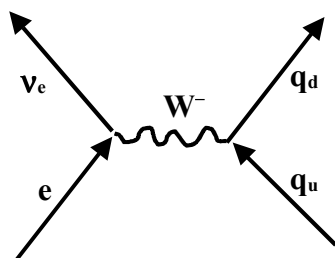
**Schema 3: Elektromagnetische Elektron-Quark-Wechselwirkung**

2 – Streuung aufgrund der schwachen Wechselwirkung, wobei ein neutrales Boson  $Z^0$  ausgetauscht wird („neutraler Strom“). Dieses Ereignis tritt bei Elektronen beider Polarisationsrichtungen unterschiedlich häufig auf (Paritätsverletzung).



**Schema 4: Schwache neutrale Elektron-Quark-Wechselwirkung**

3 – Streuung aufgrund der schwachen Wechselwirkung, wobei ein negativ geladenes Boson  $W^-$ , ausgetauscht wird („geladener Strom“). Das Elektron  $e$  verwandelt sich dabei in ein Neutrino  $\nu_e$  und ein up-Quark  $q_u$  in ein down-Quark  $q_d$ . Solche Ereignisse werden im besprochenen Experiment sofort ausgeblendet und nicht weiter berücksichtigt.



**Schema 5: Schwache geladene Elektron-Quark-Wechselwirkung**

Die Bosonen  $Z^0$  und  $W^-$  in den obigen Schemata 4 und 5 sind übrigens in der Physik sogenannte virtuelle Teilchen. Die Energie der Elektronen reicht nicht aus, um sie dauerhaft zu erzeugen. Der Prozess verhält sich so, als seien sie kurzzeitig vorhanden gewesen, um die Wechselwirkung zu vermitteln. Von den

merkwürdigen Existenzformen mancher Entitäten in der Quantenmechanik soll unten noch kurz die Rede sein.

## Hackings Schlussfolgerung

Hacking hat sich für seine Zwecke ein besonders kompliziertes Beispiel ausgesucht. Er hätte andere einfachere Experimente finden können, in denen Elektronen als Mittel verwendet werden. Offenbar will er zeigen, auf welcher subtilen Weise Elektronen eingesetzt werden können, so dass es schlicht unmöglich ist, anzuzweifeln, dass sie überhaupt existieren:

Wir müssen heute nicht mehr vorgeben, dass wir [die Existenz von Elektronen] aus erfolgreichen Erklärungen ableiten. Prescott und seine Mitarbeiter erklären keine Phänomene mit [der Existenz von] Elektronen. Sie wissen sie zu benutzen. [447]

Er sagt richtig voraus, dass eine Entwicklung von einer Hypothese zur Realität auch z. B. mit den  $Z^0$ -Bosonen eintreten könnte, zu einem

handhabbaren Werkzeug zur Untersuchung von etwas anderem. [449]

Hacking ruft die Philosophen auf

nicht über die Theorie, sondern über die Praxis nachzudenken. [450]

Er verwahrt sich dabei gegen ein konstruktivistisches Missverständnis:

Damit behaupte ich natürlich nicht, die Realität werde [allgemein] durch die menschliche Manipulierfähigkeit konstituiert. [451]

Die englische Ausgabe seines Buches enthält ein kommentiertes Inhaltsverzeichnis. Dort hat Hacking seine Sicht zusammengefasst:

Experimentieren hat ein Eigenleben, in vielfacher Wechselwirkung mit Spekulieren, Kalkulieren, Modellieren, Erfindungen und Technologie. Aber während der Spekulierer, der Kalkulierer und der Modellierer ein Anti-Realist sein kann, muss der Experimentator ein Realist sein. Diese These wird durch die detaillierte Darstellung einer Vorrichtung veranschaulicht, die einen konzentrierten Strahl polarisierter Elektronen produziert und benutzt wird, um Verletzungen der Parität bei schwachen Wechselwirkungen mit neutralen Strömen zu zeigen. Es ist nicht das Nachdenken über die Welt, sondern sie zu verändern, was uns letztlich zu wissenschaftlichen Realisten machen muss. [engl. Ausg.: xiii-xiv]

Das soll, wie er [452] erklärt, an den berühmten Satz von Marx erinnern, dass die Philosophen die Welt bisher nur interpretiert haben, es komme aber darauf an, sie zu verändern.

## Diskussion

Im Allgemeinen wird im Verlauf eines Forschungsprogramms der Übergang von Messungen an einer Entität zum Verwenden dieser Entität als Werkzeug in kleinen Schritten erfolgen. Man misst mehr und mehr Eigenschaften, man verwendet mehr und mehr von ihnen. Manchmal verwendet man bereits eine Eigenschaft, die man bisher nur vermutet, und misst sie gleichzeitig dadurch,

dass sie sich wie vermutet verwenden lässt. Ab wann muss man dann Realist bezüglich der betreffenden Entität sein?

Offenbar sieht Hackings Auffassung von Realismus – „an die Existenz glauben“ – keine Abstufungen vor. Es gibt aber verschiedene Arten, an die Existenz eines Dinges zu glauben, und bei jeder gibt es Abstufungen. Man kann Hacking also nur so verstehen, dass er die Bildung einer realistischen Existenzaussage als prinzipiellen Vorgang schildert, der im Detail seine Unwägbarkeiten hat. Hacking will wohl mit dem „Eingreifen“ den ausschlaggebenden Faktor zeigen, der zur positiven Existenzaussage führen muss.

Selbst wenn man ihm dies erst einmal zugesteht, bleiben doch erhebliche Probleme seiner Auffassung bestehen. Ich möchte dazu zuerst einen Kritiker aus der traditionellen Position des Theorien-Realismus zu Worte kommen lassen.

## Franklins Kritik

Franklin [1997 und 2002] ist ein dezidiert Kritiker Hackings und will darlegen, dass schon die Untersuchung der Elektronen ihre Existenz nachgewiesen hat. Franklin stellt dar, wie die Entdeckung des Elektrons durch Thomson [1897] vor sich gegangen ist [Franklin 1997, 26-7]:

The purpose of Thomson's experiments at that time was to investigate the nature of the then recently discovered cathode rays. He was attempting to decide between the view that the rays were negatively charged material particles and the view that they were disturbances in the aether.

Franklin [1997, 27] lässt Thomson [1897] selbst sprechen:

As the cathode rays carry a charge of negative electricity, are deflected by an electrostatic force as if they were negatively electrified, and are acted on by a magnetic force in just the way in which this force would act on a negatively electrified body moving along the path of these rays, I can see no escape from the conclusion that they are charges of negative electricity carried by particles of matter.

Bei Entitäten, die wir nicht unmittelbar beobachten können, ist immer eine „conclusion“ im Spiel, auch bei Hacking, wenn er die Entitäten als Werkzeug verwendet. Thomsons „conclusion“ bezieht sich ebenfalls auf die Wirkung der Entität Elektron auf andere Gegenstände. Das sind allerdings, wie bei Untersuchung einer Entität üblich, bekannte Gegenstände. Welchen Unterschied soll es aber machen, ob diese anderen Gegenstände bekannt (Messung der Entität) oder unbekannt (Verwendung des Elektrons als Werkzeug) sind? Auf diesen Punkt werde ich noch zurückkommen. Zunächst weiter mit Franklins Darstellung des Entdeckungszusammenhanges. Franklin [1997, 29] referiert Millikans [1917] berühmte Messung der Elementarladung und schließt:

Now one had both a definite mass and a definite charge for this would-be fundamental particle, and it behaved exactly as one would expect a negatively charged particle to behave. There was now good evidence for believing that it was a constituent of atoms – in other words, the electron.

Wenn etwas die Eigenschaften eines Elektrons habe, dann sei es ein Elektron, das soll diese Argumentation besagen. Dazu brauche es nicht erst noch als solches verwendet zu werden.

Hacking hat allerdings nur behauptet, theoretische Entitäten könnten nicht nur über die Theorie oder über Experimente an diesen Entitäten, sondern *auch* durch ihre Verwendung real werden.

## Entitäten in der Quantenmechanik

Die spezielle Auswahl des Beispiels kann den Verdacht wecken, dass mögliche Probleme der Schlussfolgerungen Hackings verdeckt worden sein könnten.

Hacking wählt als Fallbeispiel die „neutrale Wechselwirkung“ des Schemas 4, bei der ein Elektron ankommt und auch ein Elektron wieder geht. Der verwandte Vorgang „geladene Wechselwirkung“ des Schemas 5 wandelt alle Teilchen in andere um. Die beiden Fälle unterscheiden sich aus der Sicht der Quantenmechanik nur wenig. Das Elektron trifft auf ein Quark und man kann nur Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen möglichen Ergebnisse angeben. In einem der möglichen Fälle entsteht wieder ein Elektron, es macht aber keinen Sinn anzunehmen, dass dies dasselbe Elektron ist. Die Realität des Elektrons besteht in seiner spezifischen Potenz, sich und andere Teilchen umzuwandeln, und das ist weit vom klassischen physikalischen Teilchen entfernt, das wir uns bei einer realen Entität vorstellen.

Was für eine Entität ist ferner das schwache neutrale Boson  $Z^0$  in dem beschriebenen Experiment? Welche Realität haben solche „virtuellen Teilchen“ der Physik? In einer Anmerkung [453] sagt Hacking:

Auf S. 448 der vorliegenden Ausgabe werden schwache neutrale Bosonen als Beispiele für rein hypothetische Entitäten angeführt. Im Januar 1983 hat CERN verlautbaren lassen, das erste derartige Teilchen ... sei ... beobachtet worden.

Es stellen sich eine Reihe von Fragen: Wie kann er  $Z^0$  als hypothetisch bezeichnen, wo es doch der Vermittler bei der Anwendung der Elektronen ist? In Hackings Sinne war also das  $Z^0$  real, bevor es nachgewiesen wurde! Wieviele solche Medien dürfen sich zwischen einem Werkzeug und dem Material befinden? Weiß jemand, ob nicht noch weitere dazwischen sind? Wären die Vermittler ebenfalls real? War nun das  $Z^0$  auch real?

Hacking hat beobachtet [436]:

Der experimentelle Forscher faßt neutrale Bosonen ungeniert als bloß hypothetische Entitäten auf, während Elektronen als etwas Reales hingestellt werden.

Der Unterschied müsse laut Hacking daran liegen, dass die Elektronen als Mittel verwendet werden. Der Unterschied liegt aber für den Physiker stattdessen darin, dass es Entitäten verschiedener Art sind. Die „hypothetischen“ Bosonen sind in seinem Beispiel virtuelle Teilchen, die prinzipiell nur sehr kurze Zeit auftauchen können. Man würde sie so niemals als autonome Teilchen vorfinden. Das ändert sich aber, sobald die Energie der Experimente ausreicht, sie als dauernde Teilchen zu erzeugen.

Die Quantenmechanik verändert den Begriff einer Entität – sie lebt nur zwischen zwei Wechselwirkungen, es gibt keine individuellen Entitäten in Ensembles usw. – aber sie schafft ihn nicht ab. Hacking verwendet quantenmechanische Beispiele, deren Schlussfolgerungen an einem der Quantenmechanik

angemessenen Begriff von Entitäten<sup>8</sup> gemessen werden müssen. Wenn eine Theorie wie die Quantenmechanik den Begriff der Entität so stark verändern kann, wie soll dann ein Entitätenrealismus ohne Theorien auskommen können?

## Werkzeug und Material

Wie unterscheidet man die Entität als Objekt und als Werkzeug?

Hacking will eine Messung am Elektron unterscheiden von einer Verwendung des Elektrons als Mittel. Die Messung geschieht aber immer durch einen Vorgang, den man auch als Verwendung als Werkzeug ansehen könnte. Im Rahmen des beschriebenen Experiments muss z. B. die Polarisation der Elektronen zuerst gemessen werden, bevor sie verwendet werden kann. Für beides gilt derselbe Lehrsatz:

Wir verstehen die Wirkungen, wir verstehen die Ursachen, und wir machen von diesen Gebrauch, um etwas anderes herauszufinden. [48]

Das „andere“ kann sogar auch eine andere Eigenschaft derselben Entität sein.

Noch allgemeiner stellt sich bei Betrachtung von Schema 4 die Frage, warum nicht das Quark  $q$  als das Werkzeug und das Elektron  $e$  als das Objekt gelten kann. Scheinbar unterscheiden sie sich dadurch, dass  $e$  auf  $q$  hin beschleunigt wird. Aber das ist nur eine Frage der Perspektive, ein Bezugssystem, in dem  $e$  ruht und stattdessen  $q$  beschleunigt wird, ist physikalisch völlig gleichwertig. Mit anderen Worten, die Unterscheidung von Werkzeug und „anderem“ ist nur ein Unterschied in der Vorstellung des Betrachters.

Damit wird dann die angeblich unvermeidliche Realität des Werkzeugs zu einem psychologischen Effekt.

Ist der Unterschied von Theorien- und Entitäten-Realismus so groß wie behauptet? Ist der letztere „gegenwärtig“ [435<sup>9</sup>] und braucht weder Glaube noch Hoffnung oder Liebe?

Das ist wohl eine Täuschung, man denke nur an die Veränderung der Entität „Elektron“ im Laufe ihrer Geschichte. Bei Lorentz war die Welt z. B. aus nichts als Äther und positiven und negativen Elektronen aufgebaut [Galison 2002, 206]. In Darrigols Buch „Electrodynamics from Ampère to Einstein“ [2002] wird die große Vielfalt von Vorstellungen und Hypothesen beschrieben, die in der Anfangszeit ausprobiert worden sind. Das waren nicht immer dieselben Elektronen, gerade weil der Unterschied „theoretisch“ ist.

Müssen wir tatsächlich an die Realität des Werkzeugs glauben? Wie Hacking richtig feststellt, muss ein Experimentator *nicht* an die Existenz der Entitäten glauben, die er untersucht. Ein Experimentalphysiker soll unter Umständen

---

<sup>8</sup> In einem einschlägigen Sammelband [Kuhlmann / Lyre / Wayne 2002] werden angesichts der Auflösung des Entitätenbegriffs in der Quantenmechanik alternative Ontologien untersucht.

<sup>9</sup> Siehe das Zitat auf S. 4.

auch als völlig sicher geltende Sachverhalte nachprüfen. Er darf nicht voreilig von der Realität seiner Gegenstände ausgehen. Aber gilt das nicht auch weiter, wenn er sie als Mittel verwendet?

Die Behauptung, man *könne gar nicht anders*<sup>10</sup>, als an benutzte Entitäten zu glauben, besagt, ein Wissenschaftler müsse sogar im Gegensatz zu seiner professionellen Überzeugung und bei Fehlen einer bestätigten Theorie einer solchen Intuition folgen. Hier wird wiederum ein psychologischer Effekt behauptet.

## Schluss

Der Versuch Hacking, ein theorieunabhängiges Kriterium für Realität zu gewinnen, ist also als gescheitert anzusehen. Mein hauptsächliches Gegenargument ist, dass es die behauptete Zwangsläufigkeit einer Anerkennung der Realität von theoretischen Entitäten, die als Werkzeug benutzt werden, nicht gibt. Will man aus seinen eher psychologischen Formulierungen überhaupt einen wissenschaftstheoretischen Sinn machen, muss man sie so lesen, dass unsere Realitätsvorstellung das klassische physikalische Teilchenbild unumgänglich voraussetze. Das ist nicht überzeugend.

Trotz der schwerwiegenden Probleme bleibt mir die Intuition, dass Hacking mit seiner Betonung des „Intervening“ für die Konstitution von Realität etwas Richtiges und Wichtiges bezeichnet. Er ist möglicherweise im Überschwang einer richtigen Einsicht nur zu unverantwortbaren Formulierungen abgeschweift. Um welche Einsicht könnte es sich handeln?

Mit der Quantenmechanik hat sich das Verhältnis von Beobachter und Realität verändert. Die Realität war früher das Andere des Beobachters. Die Realität ist heute das, was an der Wechselwirkung teilnimmt. Dadurch sind alte Realitätsmerkmale wie persistente Eigenschaften von Individuen obsolet geworden. Sie werden ersetzt durch Erhaltungsgrößen, die durch die Individuen hindurch persistent sind. Ein Gebrauch als Werkzeug hätte früher bedeutet, dass das Mittel dauerhaft ist im Wechsel des Materials zum Produkt. Heute ist es in der Quantenmechanik eine Art Kooperation, in der sich sowohl Werkzeug wie Material verwandeln. Ihre Unterscheidung verschwindet im Begriff der Wechselwirkung. Umso gültiger ist dann der Ansatz, dass die Realität in dieser Wechselwirkung liegt. Das Interessante an Hacking's Position sehe ich darin, dass er sich dieser Sichtweise annähert.

Allerdings ist ihm in seinem Bemühen, die Realität zu fixieren, die Wandlungsfähigkeit der Entitäten der modernen Physik verloren gegangen. Wie kann ein Teilchen als Mittel real sein, wenn es sich bei seiner Verwendung in ein anderes Teilchen umwandelt? Real sind dann eher seine Eigenschaften, die die Umwandlung überdauern, die Ladung, die Energie. Diese wiederum sind in ihrem Hindurchgehen durch verschiedene Teilchen ebenfalls unreal, ihre Erhaltung erscheint als mathematische Operation. Es handelt sich um eine Auflösung

---

<sup>10</sup> Siehe das Zitat [432] auf S. 4.

des Realitätsbegriffes hin zu Erhaltungsgrößen. Jede Wechselwirkung ähnelt nun einer Umwandlung. Auch wenn einmal keine Umwandlung stattfindet, neutraler Strom, wird sie wie eine solche behandelt.

Es ist sehr üblich, darauf hinzuweisen, dass jede Entitätenfeststellung einen Anteil an Theorie enthält. Hacking zeigt, dass ebenso jede Entität einen Anteil Praxis enthält. Entitäten befinden sich zwar in einem Umfeld von Theorien, sie befinden sich allerdings immer auch in einem Umfeld von wohlbegründeten Praktiken.



## Abbildungen{ INHALT Abbildungen}

Longitudinale Polarisation	6
Parität	6
Elektromagnetische Elektron-Quark-Wechselwirkung	8
Schwache neutrale Elektron-Quark-Wechselwirkung	8
Schwache geladene Elektron-Quark-Wechselwirkung	8

## Literatur{ INHALT Literatur}

**Berger, Christoph** [2006]: *Elementarteilchenphysik. Von den Grundlagen zu den modernen Experimenten*. Springer V., Berlin u. a., 2. A., 2006.

**Darrigol, Olivier** [2002]: *Electrodynamics from Ampère to Einstein*. Oxford UP, 2002.

**Franklin, Allan** [1997]: *Are there Really Electrons? Experiment and Reality*. In: *Physics Today*, October 1997. American Institute of Physics, 1997.

**Franklin, Allan** [2002]: *Experiment in Physics*. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <http://plato.stanford.edu/entries/physics-experiment/>, 2002.

**Galison, Peter** [2002]: *Einsteins Uhren, Poincarés Karten. Die Arbeit an der Ordnung der Zeit*. S. Fischer Vg., Frankfurt/Main 2003. Übers. v.: *Einstein's Clocks and Poincaré's Maps. The Empire of Time*. W W Norton, NY 2002.

**Hacking, Ian** [1996]: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*. Reclam, Stuttgart 1996. Zitiert als [(Seitenzahl)], sinnentstellende Übersetzungsfehler evt. stillschweigend korrigiert. Ergänzte Übers. v.: *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge UP, 1983.

**Kuhlmann, Meinard / Lyre, Holger / Wayne, Andrew (Hg.)** [2002]: *Ontological Aspects of Quantum Field Theory*. World Scientific Publ., Singapore 2002.

**Mayer-Kuckuk, Theo** [1974]: *Physik der Atomkerne. Eine Einführung*. 2. überarb. A., Teubner, Stuttgart 1974.

**Millikan, R. A.** [1917]: *The Electron*. U. Chicago P. 1917. Nach Franklin [1997, 33].

**Schmüser, Peter** [1995]: *Feynman-Graphen und Eichtheorien für Experimentalphysiker*. 2. neubearb. A., Springer, Berlin u. a. 1995.

**Thomson, J. J.** [1897] in: *Philos. Mag.* 44 (1897), 293. Nach Franklin [1997, 33].

Ich danke Herrn Professor Gähde, den Teilnehmern seines Seminars „Zum Zusammenspiel von Theorie und Experiment in der neuzeitlichen Naturwissenschaft“ im Sommersemester 2005 und Marianne v. Ilten für hilfreiche Hinweise und Diskussionen.

---

Datei: Philosophie/Hacking/Hausarbeit.doc

Version: 1.50

Druckdatum: 13.04.08

© Eckehard Seidl, 2006

---