

JULIAN ROHRHUBER

## OPERATION, OPERATOR – SEHEN, WAS DAS PHOTON SIEHT

Zum vorliegenden Text führte mich ein Forschungsvorhaben, an dem ich mit den Physikern Henri Kowalski und Tobias Haas am Deutschen Elektronensynchrotron (DESY) arbeite.<sup>1</sup> Es untersucht die Möglichkeit, über die akustische Darstellung von formal-experimentellen Zusammenhängen eine Form der Anschaulichkeit zu entwickeln, die nicht von visuellen Metaphern ausgeht. Dahinter steht weniger ein didaktisches Interesse als die Vermutung, dass die Veränderung der Darstellung grundlegende Auswirkungen auf die Theoriebildung haben kann. Weniger dieses Projekt selbst soll im Folgenden Thema sein, sondern der notwendige Mangel an Anschaulichkeit, also die Abstraktheit, die wissenschaftliche Arbeit so nachhaltig prägt. Dieser Mangel bildet den Hintergrund, vor dem ich den Entwurf von Medialität untersuchen möchte, den die Akteur-Netzwerk-Theorie vorgelegt hat. Ausgangspunkt ist Bruno Latours allgemeines Symmetrieprinzip, welches die geläufige Zuschreibung von Handlungsmacht auf menschliche Akteure unterläuft, indem es auf ein Kontinuum der Referenz verweist, das wie ein Stromkreis verschiedene Entitäten in eins setzt und gleichzeitig erzeugt. Mein Interesse liegt dabei auf der scheinbaren operationalen Anschaulichkeit dieser Verkettung und inwiefern sie grundsätzlich in Frage steht, wenn es um das Verhältnis zwischen Mathematik, Informatik und Physik geht.

### Symmetrie und Abstraktheit

Symmetrie und Abstraktheit sind zwei ebenso zentrale wie umstrittene Elemente wissenschaftlicher Darstellung.<sup>2</sup> Ihnen gemeinsam ist eine eigentümliche, gezielte Gleichgültigkeit gegenüber Unterschieden, eine Gleichgültigkeit, die weniger ein Zeichen von Ungenauigkeit darstellt, sondern vielmehr die Glaubwürdigkeit, Eleganz oder Ökonomie wissenschaftlicher Lösungen ganz allgemein prägt. Diese ‚produktive Ignoranz‘ baut auf der Annahme auf, dass gewisse Symmetrien wirklich existieren – dass es also Zusammenhänge gibt, deren Entdeckung völlig verschiedene Tatsachen als zwei Seiten einer Münze zu enttarnen erlauben. Unterschiede ausklammernd, ‚übersetzen‘ sie

---

<sup>1</sup> Die Zusammenarbeit wurde angeregt durch das Projekt „eniac nomoi“, das Martin Carlé vor einigen Jahren initiiert hat.

<sup>2</sup> Vgl. z. B. Lorraine Daston/Peter Galison, *Objektivität*, Frankfurt/M., 2007.

dabei eins ins andere, ohne der Sache etwas hinzuzufügen. Man kann also sagen, dass Symmetrie sowohl Mittel als auch Anzeichen gelungener wissenschaftlicher Forschung ist: mit demselben Maß messen, dieselbe Ursache hinter verschiedenen Erscheinungen erkennen. Es geht dabei weniger darum, eigentlich Verschiedenes wie im Spiegel gegenüberzustellen, als vielmehr zu erkennen, dass es in einer bestimmten Hinsicht tatsächlich identisch ist.

Wie wir im Folgenden sehen werden, überschreitet diese Symmetrie im wissenschaftstheoretischen Diskurs die wissenschaftliche Argumentation selbst und schaltet sich in das Spannungsfeld zwischen wissenschaftlicher Forschung und Wissenschaftsforschung ein. Der hier beschriebenen Perspektive – die als sogenannte internalistische (emische) eine Objektivität im Gegenstand der Forschung akzeptiert – steht nämlich ein externalistischer (etischer) Blick gegenüber, der bezweifelt, dass Gesetzmäßigkeiten in der Natur des Dargestellten liegen und in ihnen eher annehmbliche oder sonst wie sozial geprägte Formen der Darstellung erkennt. So erscheint es aus Perspektive der konstruktivistischen Wissenschaftsforschung plausibel, dass sich hinter dem Rücken wissenschaftlicher Naturerkenntnis in Wirklichkeit eher gesellschaftliche als physikalische Kräfte austauschen, und die Form dieser Erkenntnis weniger als ein Fenster zur Welt verstanden werden sollte, sondern vielmehr als Spiegel, der die ForscherInnen und ihre Zeit abbildet. Das sozialkonstruktivistische *strong programme*, wie es von David Bloor vertreten wird, hat hier eine klare Position entwickelt: Wenn es auch nicht unbedingt die Existenz der Dinge verneint, von denen die jeweilige Wissenschaft spricht, sucht sie dennoch die Antwort nach der Frage ihrer tatsächlichen Stichhaltigkeit woanders, nämlich im Sozialen, also im kommunikativen Austausch zwischen Menschen.<sup>3</sup> Der Inhalt wissenschaftlicher Evidenz ist dabei nicht das, was die jeweils untersuchte Wissenschaft selbst zu verstehen versucht – „der Inhalt einer Überzeugung sollte nicht als Ursache der Überzeugung behandelt werden. Aber dies ist so, weil es die Überzeugung *ist*. [Herv. i. O.]“<sup>4</sup>

Erst aus einer solchen Perspektive fällt es überhaupt auf, wie sehr die traditionelle Wissenschaftsgeschichtsschreibung dazu neigt, Forschungserfolge auf das Wirken von Naturgesetzen zurückzuführen, die Misserfolge dagegen auf menschliches Versagen, oder allgemeiner auf die sozialen Verwicklungen der Forschung. So gesehen ist der Irrtum also das, was vom Gegenstand übergeht auf die Geschichte der Illusionen, während die Tatsache das ist, was durch sich selbst ans Licht kommt, wenn sie nicht vom menschlichen Irrtum daran gehindert wird.<sup>5</sup> Gegen eine solche Asymmetrie begründet Bloor sein Symmetriepostulat, das behauptet, wissenschaftlicher Erfolg und Misserfolg seien auf die gleichen – nämlich sozialen – Zusammenhänge zurückzuführen. Demge-

<sup>3</sup> David Bloor, *Knowledge and Social Imagery*, Chicago, IL, London, 1991, S. 163-185.

<sup>4</sup> „[T]he content of a belief is not to be treated as the cause of the belief. But that is because it is the belief.“ Ebd., S. 175 [Übersetzung J. R.].

<sup>5</sup> Vgl. Georg Wilhelm Friedrich Hegel, *System der Wissenschaft: erster Teil, Die Phänomenologie des Geistes*, Philosophische Bibliothek 414, Hamburg, 1988 [1807], S. 64-66.

mäß haben Erkenntnisse nicht deshalb Bestand (oder scheitern), weil sie der Natur des Beobachteten (nicht) Rechnung tragen, sondern weil ihre VerfechterInnen (keine) gesellschaftliche Anerkennung finden.

Aus dieser Argumentation wird klar, warum wir es hier mit einem externalistischen Blick zu tun haben, der zwangsläufig demjenigen der Erforschten selbst fremd bleiben muss. Deren Anspruch kann nämlich genau nicht auf gesellschaftlichen Erfolg gründen – dann wäre er zurecht unglaubwürdig; er muss immer neu den Unterschied zwischen Gegenstand und Methode, und damit auch die Trennung zwischen natürlicher und künstlicher Ursache bewerkstelligen. Eine Trennung, welche der wissenschaftssoziologische symmetrische Blick bewusst aufhebt.

Bloors Argumentation ist hier insbesondere deshalb interessant und zugleich problematisch, weil er seine Theorie herleitet, indem er die Abstraktion als zentrales Element formalisierter Wissenschaft als soziale Konstruktion bloßzustellen versucht. Abstrakte Entitäten, also hier all dasjenige, was sich weder auf eine materielle noch auf eine psychische Realität zurückführen lässt, gründen demzufolge in gesellschaftlich instituiertem Überzeugung, deren Autorität er analog zum religiösen Dogma denkt. So liest Bloor in *Knowledge and Social Imagery* die Frege'sche Auffassung von der Objektivität der Zahl bewusst gegen den Strich: Was für Frege Indiz für die nicht-empirische und außerpsychische Realität der mathematischen Begriffe ist, ist für Bloor dagegen am besten (und wie er behauptet ohne Verlust) als soziales Faktum erklärt.<sup>6</sup> Die Mathematik wird damit zum zentralen Angriffspunkt einer externalistischen Analyse.<sup>7</sup>

Die wissenschaftstheoretische Intervention Latours in Form des verallgemeinerten Symmetrieprinzips wird nun am besten verständlich vor dem Hintergrund der Gegenüberstellung von interner und externer Perspektive. Die letztere ist für ihn deshalb problematisch, weil sie die Gesellschaft als gegeben voraussetzt, die Theorien und ihre Gegenstände am entscheidenden Punkt jedoch als abgeleitet. Diese noch verbleibende Asymmetrie muss ebenso aufgehoben und in einer erweiterten Theorie als Resultat von Operationen verstanden werden. Latour schränkt das Symmetriepostulat Bloors also eigentlich nicht ein (wie man etwa sagen könnte, es sei bloß eine heuristische Annahme), sondern radikalisiert es affirmativ – was die erste Gleichung allerdings auch schon wieder zum Kippen bringt: Das Bloor'sche Symmetrieprinzip, das von der Trennung erfolgreich/erfolglos absieht, soll gleichermaßen für die Einteilung menschlich/nicht-menschlich gelten, wobei die Produktion von wissenschaftlicher Evidenz damit nicht mehr auf den Erfolg oder Misserfolg *menschlicher* Akteure reduziert werden kann, sondern die *nicht-menschlichen* Gegenstände naturwissenschaftlicher Beschreibung wieder ins Bild kommen, dies-

<sup>6</sup> Vgl. Bloor (1991), *Knowledge and Social Imagery*, S. 97-98.

<sup>7</sup> Bart Van Kerkhove/Hans Comijn, „The Importance of Being Externalist about Mathematics – One More Turn?, in: *Philosophica* 74, (2004), S. 103-122.

mal allerdings als mehr oder weniger stabile hybride Akteure, oder Quasi-Objekte.<sup>8</sup>

Unter anderem inspiriert von Konzeptionen der Technik und Subjektivität, die der Prozessphilosophie nahestehen (z. B. Gilles Deleuze, Isabelle Stengers und Michel Serres), wendet sich Latour mit der Verallgemeinerung des Symmetrieprinzips einer Konzeption von Medialität zu, die er von Antoine Hennion aufgreift. An die Stelle der Einhegung von Natur und Kultur treten Übersetzungsprozesse, Übergänge zwischen Produktions-, Mess- und Körpertechniken und die Anerkennung der Eigenmächtigkeit der verschiedensten Entitäten. Dabei schließt sich Latour der ethnomethodologischen Forderung an, teilnehmend zu beobachten, um im unmittelbaren Nachvollzug der Verkettungen von Personen, Apparaten, Dingen und Zeichen die Objektivität wissenschaftlicher Gegenstände in deren Anschlussfähigkeit und Übersetzbarkeit zu erkennen.

Das sozialkonstruktivistische Postulat also, dass es die Gesellschaft ist, die als unbewusster Automatismus über die Bedeutung der Forschungsergebnisse entscheidet, wird nicht direkt widerlegt, sondern umgekehrt wird die Gesellschaft verstanden als verallgemeinertes Kollektiv; ein Kollektiv, das jede unmittelbar oder mittelbar beteiligte Entität schon einschließt, und eine neue „Mitte“, einen Hebelpunkt bildet, an den die Erklärung der Welt angesetzt werden kann.<sup>9</sup> Gesellschaftliche Kräfte und Naturkräfte, die sich auswirken und als verdeckte Ursachen beobachtbar werden können, sollten sich als indirekte Ergebnisse nachvollziehbarer wissenschaftlicher Praxen vor Ort herausstellen. Aus der ethnomethodologischen Einsicht, dass Akteure unablässig sich selbst und anderen Rechenschaft über ihre Handlungen ablegen, zieht die ANT ihre tendenzielle Zuversicht, dass sich auf der Ebene der Operationsketten alles unmittelbar zeigt, was notwendig ist, um den Übergang zwischen großem Zusammenhang und singulärer Situation aufzufassen. Die Verkettungen unmittelbar wirksamer hybrider Praxis sollen also den Gegensatz zwischen sozialen und natürlichen Kräften aufheben.

Wie bereits erwähnt, diente in Bloors Argumentation insbesondere das Abstrakte als gesellschaftlicher Pol der Objektivität und inkorporierte am ent-

<sup>8</sup> Im Quasi-Objekt werden menschliche und nicht-menschliche Handlungsmacht ununterscheidbar. (Zur Terminologie siehe Gustav Roßler, „Kleine Galerie neuer Dingbegriffe: Hybriden, Quasi-Objekte, Grenzobjekte, epistemische Dinge“, in: Markus Schroer/Georg Kneer/Erhard Schüttpelz (Hg.), *Bruno Latours Kollektive: Kontroversen zur Entgrenzung des Sozialen*, Frankfurt/M., 2008, S. 234-258.) Hier wird auch nochmals klar, inwiefern Symmetrieprinzipien immer gleichzeitig Erhaltungssätze sind: Die Bloor'sche Symmetrie erhält einen gemeinsamen Grund aufrecht von Erkenntnis und Irrtum (Gesellschaft), die verallgemeinerte Symmetrie Latours erklärt Natur und Kultur als Erscheinungsformen von Vermittlungsoperationen. Dieser Zusammenhang zwischen Symmetrie und Invarianz wurde in verschiedenen Feldern von Emmy Noether, Alfred North Whitehead und Hermann Weyl entwickelt. Vgl. Talal A. Debs/Michael L. G. Redhead, *Objectivity, Invariance, and Convention: Symmetry in Physical Science*, Cambridge, MA, 2007.

<sup>9</sup> Bruno Latour, *Wir sind nie modern gewesen*, Frankfurt/M., 2008, S.103-106.

scheidenden Punkt ausschließlich soziale Autorität. Welche Rolle kommt nun dem Abstrakten nach der Verschiebung der Perspektive zu, die menschliche und nicht-menschliche Akteure ebenso zulässt wie deren Mischungen?

Latour betont wiederholt, dass für ihn Abstraktes selbst keine Ursache ist, sondern sich als *Produkt* konkreter Operationen konstituiert. So hätten Latour zufolge

[d]ie Modernen [...] Produkt und Prozeß verwechselt. Sie haben geglaubt, [...] daß die Produktion von Abstraktionen selbst abstrakt ist und die von Formalismen selbst formal. Ebenso gut könnte man sagen, daß eine Raffinerie Benzin auf raffinierte Weise produziert und eine Molkerei Butter auf molkige Weise! Die Worte Wissenschaft, Technik, Organisation, Ökonomie, Abstraktion, Formalismus, Universalität bezeichnen sehr wohl reale Wirkungen. Aber sie bezeichnen keinesfalls die Ursache dieser Wirkungen.<sup>10</sup>

Die Ursachen dieser Wirkungen sind für Latour auf der Ebene der Operationen zu suchen, und er findet immer neues Vergnügen daran, diese als überraschend unproblematisch und transparent zu demaskieren. Es gibt keine große Hierarchie der Strukturen, nur lokale flache Bindungen. Folgt man den Akteuren, lösen sich die großen Rätsel der „modernen“ Philosophie in Luft auf – beziehungsweise, wie wir gleich sehen werden, in Übersetzungsketten, an denen das Latour'sche Verständnis von Medialität deutlich wird. Mein Eindruck ist allerdings eher, dass die philosophischen Rätsel auch in Latours Operationsketten unter der Hand wiederkehren – allerdings in veränderter Form, indem sie mitten auf dem Boden der Praxis ihre eigenen Abgründe auftun (was sie eigentlich nur interessanter macht). Das Latour'sche Kontinuum der Medialität bricht sich dort, wo die Unmittelbarkeit der Anschauung einer Delegation an abstrakte Entitäten weicht. Im Folgenden möchte ich nun dieses operative ‚Quasi-Kontinuum‘ näher diskutieren.

### Der James'sche Abgrund und die operative Kette

Vielleicht das deutlichste Beispiel für die Vorstellung eines medialen Kontinuums findet sich in Latours Analyse der Bodenforschung im Amazonas.<sup>11</sup> Hier wird die Frage des Abgrunds zentral, in diesem Fall als erkenntnistheoretische Grundfrage der *Referenz*, das heißt als Frage, wie die Entsprechung zwischen Welt und Denken zu verstehen ist, also wie konkrete Dinge und abstrakte Begriffe zusammenhängen (im Sinne einer *adaequatio rei et intellectus*). Für die Welt auf der einen Seite steht hier der veränderliche, von Regenwürmern durchzogene Boden ein, für die Erkenntnis auf der anderen das von Papiersta-

<sup>10</sup> Ebd., S. 153.

<sup>11</sup> Bruno Latour, „Der ‚Pedologen-Faden‘ von Boa Vista – eine photo-philosophische Montage“, in: *Der Berliner Schlüssel. Erkundungen eines Liebhabers der Wissenschaften*, Berlin, 1996, S. 191-248.

peln, Karten und Computern beherrschte Büro an der Universität, das „Rechen(schafts)zentrum“. <sup>12</sup> Diese Protagonisten sind Teil einer Expedition im Norden Brasiliens, an der Latour als Wissenschaftsforscher teilgenommen hatte, und die zum Ziel hatte, die Dynamik der Grenze zwischen Savanne und Wald zu erschließen. Latours Reiseerzählung will dabei nun in einer Art Parallelmontage demonstrieren, dass das Grundproblem nicht darin besteht, den Abgrund zwischen Welt und Denken zu überspringen, sondern stückweise die beteiligten Größen ineinander zu überführen, und zwar so, dass sie in beide Richtungen nachvollziehbar angeschlossen bleiben. Die Referenz deutet nicht über den Abgrund hinweg, sondern zirkuliert in dieser unablässigen Übersetzung. Latour folgt dabei William James, der in einem Text von 1907 den „salto mortale“ der Philosophie als „Hokuspokus“ zu enttarnen versucht: Der Abgrund zwischen konkreter Welt und abstrakten Begriffen existiert nicht, ebenso wenig wie seine beiden Ränder.

Die Beziehung zwischen Idee und Gegenstand ist zwar abstrakt und zum Sprung geworden, dennoch wird sie als wesentlicher und ursprünglicher betrachtet als ihr eigenes Selbst, und die konkretere Beschreibung wird als falsch oder unzureichend abgestempelt. <sup>13</sup>

Wird also die Abstraktion in den konkreten Abfolgen praktischer Arbeit aufgehoben? Zunächst scheint das in der ethnomethodologischen Hinwendung zur lokalen Praxis der Fall zu sein. Es werden mediale Akteure der Reihe nach präsentiert, so dass die Wahrheit als eine Kette von Operationen erscheint, oder, um den Begriff zu verwenden, den Latour aus der Anthropologie Leroi-Gourhans entlehnt, als *operative Kette* (*chaîne opératoire*). <sup>14</sup> Das Problem der Referenz zwischen Welt und Denken ist in diesen Verkettungen eingeschlossen.

Es besteht allerdings das Risiko, dass sich der Verweis auf die „Praxis“ von verketteten Operationen als Lückenbüßer herausstellt, der es Latours Argumentation erspart, selbst Partei zu ergreifen, und zwischen Methode und ihrem Gegenstand zu unterscheiden, also sowohl eine Geschichte der wissenschaftlichen Entitäten als auch der wissenschaftlichen Arbeitsweisen zu schreiben. <sup>15</sup>

<sup>12</sup> Ebd., S. 86 f. So übersetzt Richard Rottenburg Latours Begriff des ‚centre of calculation‘. Vgl. Richard Rottenburg, *Weit hergeholte Fakten: eine Parabel der Entwicklungshilfe*, Stuttgart, 2002, S. 121.

<sup>13</sup> William James, *Pragmatism and the Meaning of Truth*, Cambridge, MA, 1975 [1907], S. 248.

<sup>14</sup> Im Französischen hat *chaîne opératoire* Anklänge an *mode opératoire*, dem *modus operandi*, und steht damit dem Handlungsmuster nahe, das man in seinen Spuren entziffert. Um deren aktiven Charakter zu betonen, verwende ich hier die Übersetzung ‚operative Kette‘ statt der verbreiteteren ‚Operationskette‘.

<sup>15</sup> In seiner Analyse der Quantenphysik beschreibt es der Wissenschaftsphilosoph Andrew Pickering als Vorteil, nur menschliche Handlungsmacht anzuerkennen, da man sich damit nicht mit den Verwicklungen auseinandersetzen muss, die sich aus der Perspektive der jeweiligen Wissenschaft selbst ergeben: Wenn deren Entitäten wirklich entdeckt und nicht erfunden sind, müssen rückwirkend ältere Vorstellungen als Verzerrungen uminterpretiert werden:

Inwiefern diese Differenz zum Tragen kommt, wenn man den Akteuren folgt, bleibt zu bedenken. Wie eine Operation selbst an der Dichotomie natürlich/künstlich teilhat, lässt sich nicht ohne Weiteres durch deren Verkettungen klären. Da die Ketten als endlos gedacht sind und sich beliebig weiterverfolgen lassen, fällt diese Unterscheidung, die innerhalb der (emischen) Ebene der jeweiligen Wissenschaft konstitutiv ist, auf der (etischen) Beobachtungsebene der ANT weg: In der Operation scheinen Methode und Gegenstand flüssig ineinander überzugehen.<sup>16</sup>

Im Folgenden möchte ich dieser ‚Theoriegeografie‘ ein Beispiel aus der theoretischen Quantenphysik gegenüberstellen. So wesentlich die ‚zirkulierende Referenz‘ in der mathematisierten Welt der theoretischen Physik ist, so wenig lässt sie sich dort vollständig im Latour’schen Sinne geografisch ausrollen. Trotzdem sollte man auch hier operative Ketten finden und deren Arbeit und innere Struktur zumindest in Umrissen nachvollziehen können. Dass sie jedoch in wesentlichen Punkten unbestimmt, und damit abstrakt bleiben müssen, um überhaupt ‚Wahrheit zu transportieren‘, ist eines der Ergebnisse, die ich hier bereits vorwegnehmen kann.

Zunächst möchte ich aber noch einmal genauer auf das Schema eingehen, das Latour im *Pedologenfaden* entwirft, und auf die Funktion, die dabei die Bindungen zwischen den Übersetzungsschritten haben; es bricht sich darin unter anderem auch die eher naive Vorstellung vom Netzwerk, das aus Knotenpunkten besteht, die durch durchgehende Wege verbunden sind. Hier betreffen die Forschungsfragen den Wald – es geht um die Frage, ob und wie dieser sich über den Zeitraum vieler Jahre in die offene Savanne ausbreitet oder zurückzieht. Beantwortet werden können sie nur nach ausreichender „Amplifikation“, wahr werden sie nur, weil man sie, „reduzierend“, zurückverfolgen kann. Ein weitläufiges und komplexes Feld der materiellen Beziehungen wird demgemäß in ein kompliziertes, aber übersichtliches Feld der formalen Beziehungen zusammengeführt, das *Rechen(schafts)zentrum*. Nur indem man die Bodenproben der Reihe nach in ‚ihre‘ Dimensionen wie Farbcode, Längen- und Breitengrad usw. übersetzt, können sie an der Universität mit anderen Forschungsergebnissen in Beziehung gesetzt werden und mit ihnen eine dichte, daher „amplifizierte“ Verbindung eingehen. Die Perspektive des empirischen Reduktionismus, der die Phänomene auf ihre materiellen Bedingungen zurückführt, ist hier dann nichts anderes als der symmetrische Weg zurück, der gewissermaßen die Fiktionalität der formalen Beziehungen im

---

Andrew Pickering, *Constructing Quarks: a Sociological History of Particle Physics*, Chicago, IL, London, 1984, S.7 f.

<sup>16</sup> Auch wenn er sich für einen kontinuierlichen Übergang ausspricht, lässt sich beobachten, dass Latour tatsächlich in der Argumentation zwischen emischer und etischer Perspektive hin- und herschaltet. Vgl. Erhard Schüttpelz, „Der Punkt des Archimedes. Einige Schwierigkeiten des Denkens in Operationsketten“, in: Markus Schroer/Georg Kneer/Erhard Schüttpelz (Hg.), *Bruno Latours Kollektive: Kontroversen zur Entgrenzung des Sozialen*, Frankfurt/M., 2008, S. 234-258.

Zaum hält. Wesentlich an der Verkettung ist die Zwangsläufigkeit, mit der sie von einem Schritt jeweils genau auf den nächsten abbildet. Bekanntlich hat Latour für solche Momente der Übertragung den Begriff der *immutable mobiles* geprägt, der Kulturtechniken meint, die, wie etwa Papier, gleichzeitig lokal eindeutig und übertragbar sind.<sup>17</sup> Im Fall der Bodenforschung tritt dafür nun der Begriff der verketteten *Operation* ein, die durch bestimmte Medien dort eine Kontinuität erzeugt, wo vorher der Abgrund war, nämlich zwischen Form und Materie.

Im Einzelnen werden uns in diesem Text einige interessante Form-Materie-Verbindungen erklärt, darunter auch der titelgebende „Pedologen-Faden“, eine einfache Schnur, mit der man den kürzesten Abstand zwischen zwei Punkten auch im dichten Unterholz feststellen kann. Zwei weitere möchte ich hier kurz herausheben, um darauf später zurückkommen zu können. Die erste ist eine Farbtabelle, die ein Farbfeld mit einer Zahl (dem Munsell-Code) verbindet. Die Farbfelder haben jeweils ein Loch, damit man eine Bodenprobe dahinterhalten kann und es entscheidbar wird, wann sie sich von der gedruckten Farbe nicht mehr abhebt. Ähnlich einem Thermometer, das eine Zahlenreihe hinter eine Quecksilbersäule legt, überlagern sich hier Pigmente und Zahlen. Die zweite Form-Materie-Verbindung ist der sogenannte Pedokomparator, ein Setzkasten, in dem die Erdproben in einer Art „materiellen Tabelle“ so angeordnet sind, dass ihnen kartesische Koordinaten zugeordnet werden können. Man sieht, dass man hier *jeweils* Form und Materie als in eins gesetzt verstehen kann, wenn man die waldzugewandte Seite als ‚materiell‘ und deren Gegenstück als ‚formal‘ betrachtet. Wesentlich für Latours Argumentation ist, dass diese Operationen (getreu dem verallgemeinerten Symmetrieprinzip) den James’schen Abgrund zwischen Materie und Form lückenlos überbrücken, indem sie so verkettet sind, dass für das je nächste Glied Materie ist, was für das letzte noch Form war. Folglich heißt Abstraktion hier nichts anderes als die Fähigkeit, diese beiden Pole ineinander zu übersetzen, sie bezüglich ihrer Referenz ununterscheidbar zu machen. Wie in einem Flaschenzug laufen dabei viele Stränge zusammen, die letztlich alle ein und demselben Kontinuum angehören.

### Sehen, was das Photon sieht

In ihrer Verbindung aus enormer technischer Raffinesse, theoretischer Komplexität und organisatorischem Aufwand stellt die Quantenphysik ein reiches Betätigungsfeld für die Wissenschaftsforschung dar. In ihr stellt sich die Frage nach dem Abgrund zwischen Form und Materie vor allem als Frage nach dem Abgrund zwischen Theoriebildung und Experiment – dies sowohl aufgrund

<sup>17</sup> Bruno Latour, „Visualisation and Cognition: Drawing Things Together“, in: *Knowledge and Society Studies in the Sociology of Culture Past and Present*, 6 (1986), S. 1-40.

der disziplinären Arbeitsteilung (theoretische Physik, Experimentalphysik und Ingenieurwesen) als auch aufgrund der vielfältigen Faktoren, die auf Fragestellungen und deren Lösungen einwirken. Entgegen der Vorstellung einer ab den 1970er Jahren aufblühenden physikalischen „Großforschung“ (man denke an die Medienberichte über den Teilchenbeschleuniger LHC) beschreibt der Wissenschaftshistoriker Peter Galison die Entstehung der neuen Konstellation als eine Verschiebung von einem „modernen“ Labor zu einem „postmodernen“, von der reinen Experimentalanordnung zum Hybrid zwischen sozialen, technischen und epistemischen Aspekten.<sup>18</sup> Diese Hybridisierung erzeugt allerdings eine zuvor so nie gekannte Spaltung, die die Koordination zwischen Theorie und Experiment vor „Probleme einer neuen Größenordnung stellt“.<sup>19</sup> Ich möchte im Folgenden auf ein Beispiel aus der Quantenchromodynamik (QCD) eingehen, die für Galison exemplarisch ist für diese Spaltung.<sup>20</sup> Es ist am Übergang von theoretischer und experimenteller Physik angesiedelt und versucht, die Daten aus einigen Jahren experimenteller Forschung im Nachhinein besser zu verstehen, indem es sie vor dem formalisierten Hintergrund bisher wenig verstandener Theorien betrachtet.<sup>21</sup>

Zunächst einige Worte zum allgemeinen Verständnis. Die Arbeit mit Teilchenbeschleunigern und ihren aufwendigen Detektoren erlaubt Rückschlüsse über die innere Struktur und das Verhalten von Entitäten im subatomaren Bereich. Die Versuche werden über viele Jahre konzipiert und dauern dann ebenso lange, wobei die Ergebnisse sich oft erst im Nachhinein zeigen. Ein solches Experimentalsystem, das uns im Folgenden als Beispiel dient, ist der Beschleuniger HERA (Hadron-Elektron-Ring-Anlage) am Hamburger Forschungszentrum DESY. Dieser Teilchenbeschleuniger erlaubte es, die Interaktion zwischen Hadronen (Protonen) und Leptonen (Elektronen/Positronen) zu untersuchen.

Im Energiebereich des Experiments kam es vor, dass das Proton nach der Kollision mit einem Elektron erhalten blieb, was an der spezifischen Streuung des vermittelnden virtuellen Photons messbar wurde. Diese Ereignisse sind unter anderem deshalb interessant, weil man unter bestimmten Annahmen formal zeigen kann, dass diese Streuung nur durch den Austausch von Gluonen vermittelt sein kann.<sup>22</sup> Da die Bestandteile des Protons von Gluonen zusam-

<sup>18</sup> Peter Galison, *Image & Logic: A Material Culture of Microphysics*, Chicago, IL, 1997, S. 553-559.

<sup>19</sup> Ebd., S. 641. Galison entwickelt hier den für die Wissenschaftsforschung wichtig gewordenen Begriff der *trading zone*, der diese Koordinationsleistung beschreibt.

<sup>20</sup> Ebd., S. 642.

<sup>21</sup> Die Messdaten entstanden im Zeitraum 1997 bis 2007 im Rahmen des HERA-Programms am Deutschen Elektronensynchrotron (DESY) und gehen in die theoretischen Arbeiten ein, die sich mit einer spezifischen Lösung in der perturbativen QCD beschäftigen.

<sup>22</sup> Die Theorie dieses Gluonenaustauschs wurde in den 1970er Jahren unter anderem von den St. Petersburger Physikern Lev Lipatov und Vladimir Gribov entwickelt und impliziert die Existenz eines hypothetischen Teilchens, dem Pomeron. Diese Theorie ist die Basis für weitere Erkenntnisse der Quantenchromodynamik. (Henri Kowalski/Lev N. Lipatov/Douglas A. Ross/

mengehalten werden, gehören diese Ergebnisse zu den wenigen Hinweisen auf einen schwer zugänglichen Teil der Materie. Wie man in der Physik gerne sagt, „sieht das Photon“ hier den inneren Zusammenhalt der Materie selbst.<sup>23</sup>

Die über mehrere Jahre gesammelten Messergebnisse sind für sich genommen wenig aufschlussreich. Erkennt man in ihnen aber das tatsächlich eingetretene Resultat allgemein gültiger physikalischer Zusammenhänge, schränken diese die Randbedingungen der Beschreibung soweit ein, dass man sich für oder gegen bestimmte Theorien entscheiden kann. Analog zum Pedologen-Faden kann man ganz allgemein sagen, dass ein ‚Abgrund‘ zwischen zwei Ausprägungen von Theorie klappt: Der experimentelle Aufbau, also das eigentliche ‚Labor‘, in dessen fein geeichtem Funktionieren das schon etablierte Wissen und seine offenen Fragen auskristallisiert sind, bildet die Seite der *material culture*. Auf der anderen stehen die mathematischen Herleitungen der theoretischen Physik, die jenseits von Messbarkeit eine prinzipielle Abhängigkeit zwischen beteiligten physikalischen Größen aufrechterhalten. Das erkenntnistheoretische Problem, das Latour so am Herzen liegt, erscheint hier also in der Frage, wie eine mathematische Form der Theorie der experimentellen Form „entsprechen“ kann. Um analog zur Bodenforschung zu zeigen, dass die Mathematik nicht einfach eine adäquate Entsprechung zur in sich stehenden Welt der Physik ist, könnte man die Vorgänge des Entwurfs, der Planung und der Politik, der jahrelangen Eichung anhand der „diplomatischen Arbeit“ von *immutable mobiles* nachvollziehen. Umgekehrt sollte allerdings gerade auch die formale Seite der Theorie ohne echten Bruch die Referenz „transportieren“ und an den Kreislauf der physikalischen Übersetzungsketten „angeschlossen bleiben“. Wenn die Kette endlos ist, sollte man auch formalen Akteuren folgen können.

Wie sehen also die operativen Ketten aus, die innerhalb der formalen Arbeit garantieren, dass jeweils Form und Materie auf bestimmte Weise ineinander übergehen? Welche Operationen liegen ihnen zugrunde und lassen sich diese in der Forschungspraxis nachvollziehen?

Ich möchte zunächst die typische medientechnische Arbeitsumgebung vor Augen führen, um daran die Struktur zu zeigen, die im Weiteren dann auch innerhalb der Schritte der formalisierten Argumentation besteht. Die Elemente dieser Arbeitsumgebung lassen sich im Großen und Ganzen in drei Bereiche gliedern: Die gemessenen *Daten* einerseits liegen in komprimierter und über eine spezielle Scriptsprache abfragbarer Form vor. Sie enthalten in unserem

---

Graeme Watt, „Using HERA Data to Determine the Infrared Behaviour of the BFKL Amplitude“, in: *The European Physical Journal C – Particles and Fields* 70, 4 (2010), S. 983-998, DOI: 10.1140/epjc/s10052-010-1500-6.)

<sup>23</sup> Meist wird dieser Ausdruck in Zusammenhang mit elektromagnetischen Wechselwirkungen verwendet – „das Photon sieht“ also gewöhnlich Elektronen. In diesem speziellen Fall ist selbst dieser „Blick“ noch vermittelt: Das (virtuelle) Photon spaltet sich in einen relativ stabilen Quark-Antiquark-Dipol, der wiederum mit dem Proton über die Gluonenwolke wechselwirkt. Genau genommen „sieht“ also dieser Dipol – doch wo hört die Vermittlung auf?

Fall sowohl Größen, die den Grundzustand der Messapparatur wiedergeben, als auch solche, die man in den Gleichungen der theoretischen Physiker wiederfinden kann. Zweitens kursieren *Aufsätze* in elektronischer Form, in denen sich die englischsprachige Argumentation mit der formalen Herleitung mischt, wobei der argumentative Zusammenhalt durch Grafiken und Tabellen unterstützt wird. Drittens werden die ‚theoretischen‘ physikalischen Zusammenhänge in Form von *Computerprogrammen* mit den aus den Experimenten stammenden Daten kombiniert. Die algorithmischen Prozesse werden per Terminal auf einem Großrechner gestartet, wo sie über Minuten bis zu Stunden laufen, während der Rest der Arbeit weitergeht. Obwohl sich all das ohnehin „im Computer“ abspielt, ist man zunächst also in ein Feld multipler Sprachen, Zeitebenen und Symbolsysteme eingebunden, zwischen denen der Forschungsprozess unbekümmert hin- und herspringt – ein *Kreol*<sup>24</sup>, das nie auf eine seiner Komponenten zurückgeführt werden kann.

Auch wenn Forschungszentren wie das DESY schon in ihren ersten Jahren computergestützte Verfahren der ‚angewandten Mathematik‘ in der theoretischen Physik einsetzen, war diese gemischte Methode auch lange danach noch nicht selbstverständlich. Ich möchte hier kurz darauf eingehen, weshalb sich in den Übersetzungsschritten der algorithmischen Herleitung die grundsätzlichen, weil letztlich ontologischen Probleme wiederfinden, die dem ganzen Verhältnis zwischen Mathematik und Physik eigen sind. Sieht man nämlich die Mathematik als eine Technologie an, welche die gemessenen Daten ordnet und so miteinander in Beziehung bringt, dass sich gerade eben keine Widersprüche ergeben, neigt man dazu, sie für eine menschliche Erfindung zu nehmen. Die physikalische Natur auf der anderen Seite besitzt dann keine ihr eigene formale Struktur, sondern wird von dieser nur adressierbar gemacht, so wie ein Bezeichnendes nur durch die Konvention der Sprache seinem Bezeichneten entspricht. Wie wir am Beispiel der Bloor’schen Argumentation gesehen haben, ist als strengste und gleichzeitig abstrakteste Form der Schlussfolgerung das mathematische Denken prädestiniert dafür, als gesellschaftlich konstruiert und letztlich rein fiktiv der Natur der Materie gegenübergestellt zu werden. Das Computerprogramm ist nun insofern problematisch, als es eine Operation symbolisch beschreibt, diese aber gleichzeitig auch realisiert und kontextualisiert. Es beschreibt ganz allgemein einen Zusammenhang, stellt aber auch die Mittel zur Verfügung, ihn in einem bestimmten Fall tatsächlich herzustellen. Es macht also formales Denken und physikalischen Prozess in gewisser Hinsicht ununterscheidbar.<sup>25</sup> Diese Tatsache ist ein Indiz dafür, dass eine eindeutige Bruchstelle zwischen Physik, Mathematik und Informatik fehlt. Es wäre also trügerisch, von etwas unmittelbar ‚Angewandtem‘

<sup>24</sup> Galison (1997), *Image & Logic*, S. 832-834.

<sup>25</sup> Die Frage erörtere ich näher in: Julian Rohrhuber, „Intractable Mobiles. Patents and Algorithms Between Discovery and Invention“, in: Tristan Thielmann/ErhardSchüttelz/Peter Gendolla, *Akteur-Medien-Theorie*, Bielefeld, (im Erscheinen).

auszugehen, weil man damit verkennen würde, dass Referenz an allen Punkten gleichermaßen entscheidend ist.

### Operation und Operationalismus

Die Ergebnisse der Physik der ersten Jahrzehnte des zwanzigsten Jahrhunderts haben in der Wissenschaftsphilosophie die Frage nach dem ontologischen Status physikalischer Größen zugespitzt. Es ist daher immer wieder aufschlussreich, auf diese Phase zurückzukommen. Eine der vielen vorgeschlagenen methodischen Antworten, auf die ich hier kurz eingehen will, ist als *Operationalismus* bekannt geworden und hat neopositivistische Strömungen inspiriert, insbesondere im für die analytische Philosophie so prägenden Wiener Kreis. In gewisser Hinsicht ein dem Behaviourismus analoges Paradigma – gemäß dem die Kognition vom beobachtbaren Verhalten ununterscheidbar ist – erklärt der Operationalismus all diejenigen Variablen für bedeutungslos, die nicht auch messbar sind. Der amerikanische Experimentalphysiker P. W. Bridgman, der den Begriff 1927 einführte, erkannte, dass sich hinter scheinbar selbstverständlichen Größen wie Raum, Masse oder Temperatur oft unhinterfragte oder unverstandene Annahmen verbergen. Die Lösung sah er darin, jede Formulierung daraufhin zu hinterfragen, wie sich ihre Variablen mithilfe eines experimentellen Verfahrens verifizieren lassen. Bridgmans methodische Überlegungen sind durchaus mit ontologischen Entscheidungen verknüpft: „[I]f we sufficiently extend our range we shall find that nature is intrinsically and in its elements neither understandable nor subject to law.“<sup>26</sup> Charakteristisch für diese Form von pragmatischer Ontologie ist, dass sie den Unterschied zwischen Messung und Gemessenem weitestgehend auf die Praxis des Verfahrens reduziert. Das mathematische Denken in der Physik fällt dabei folgerichtig mit der Messtechnologie zusammen. Einerseits ist es von deren empirischer Ungewissheit infiziert: „[A]rithmetic, so far as it purports to deal with actual physical objects, is also affected with the same penumbra of uncertainty as all other empirical science.“<sup>27</sup> Darüber hinaus bleibt all das methodisch ausgeklammert, was sich nicht analog zur Messung zeigt, wie beispielsweise die indirekte Herleitung der Existenz mathematischer Entitäten.

<sup>26</sup> Percy Williams Bridgman, „The New Vision of Science“, in: *Harper's* 158, (1929), S. 443-454: 444 (zit. n. Hasok Chang, „Operationalism“, in: Edward N. Zalta (Hg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford, CA, 2009, online unter: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/operationalism/>, zuletzt aufgerufen am 22.08.2011).

<sup>27</sup> Percy Williams Bridgman, *The Logic of Modern Physics*, New York, NY, 1927, S. 34 (zit. n. Hasok Chang, „Operationalism“, in: Edward N. Zalta (Hg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford, CA, 2009, online unter: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/operationalism/>, zuletzt aufgerufen am 22.08.2011).

Man kann sagen, dass die Idee der operativen Kette, wie sie Latour aus der Anthropologie entlehnt, in dieser operationalistischen Hinwendung zur Anschaulichkeit eine Entsprechung hat. Zumindest den Optimismus, dass, wenn überhaupt, dann auf der Ebene der Praxis alles offen liege, teilt die ethnomethodologisch inspirierte ANT mit dem Operationalismus. Die im *Pedologen-Faden* implizite Behauptung, dass die Frage nach der Überwindung des Abgrunds zwischen Sprache und Welt deshalb und *nur* deshalb falsch gestellt sei, weil man die Übersetzungsschritte vergessen habe, spricht für diese Nähe. Wenn die Wahrheit wie in einem Stromkreis zirkulieren muss, zählen ausschließlich effektive Anschlüsse, alles andere ist Metaphysik.

Dem möchte ich einen zunächst konzeptuellen Einwand entgegenhalten, der sich im Weiteren indirekt konkretisieren wird: Um entscheiden zu können, ob etwas tatsächlich existiert, ist ein Sprung notwendig, der durch Stärke und Schwäche der Anbindung allein nicht gewährleistet ist. Ohne diese Entscheidung (wodurch sie auch immer erzwungen ist) gibt es nichts als Effekte. Eine solche Einschränkung verhindert es letztlich, die Anerkennung ernst zu nehmen, die die Forschung ihren Gegenständen entgegenbringt.

Auch wenn der Operationalismus einen prägenden Einfluss insbesondere auf den ontologischen Einsatz der Quantenmechanik und ihre Glaubwürdigkeit hatte, ist diese besondere Form von Purismus von Anfang an umstritten. Der Wissenschaftsphilosoph Henri Margenau hat in den 1950er Jahren das Problem folgendermaßen beschrieben:

The numbers established by meter-stick operations cannot be shown to have anything in common with what is operationally referred to by light-signal experiments. In calling both *lengths* we tacitly acknowledge, not merely a limited sort of empirical equivalence between the two operations, but a logical identity [...]. [Herv. i. O.]<sup>28</sup>

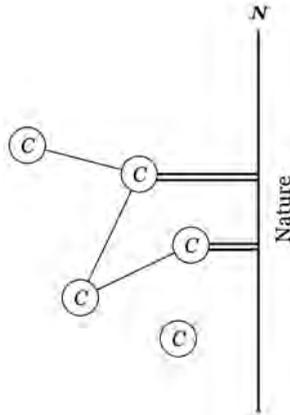
Es entgeht dem operationalistischen Blick also genau die Symmetrie, welche die Operation überhaupt erst motiviert: scheinbar unverwandte Phänomene als Resultat der gleichen Gesetzmäßigkeiten zu erkennen. Wenn die Symmetrie eine Zuschreibung ist, wird sie zum Beobachtungsartefakt.

Um sowohl diese logische als auch die operationale Beziehung in sein System zu integrieren, spricht Margenau von zwei Formen der Definition, nämlich der *epistemischen* (die eine operationalisierbare Korrespondenz zu einem Messverfahren hat) und der *konstitutiven*, bzw. *formalen* (die alle anderen Tatsachen betrifft).<sup>29</sup> Damit gesteht er zu, dass es in der Forschungslogik immer etwas gibt, das auf Messverfahren bezogen bleibt, hält aber gleichzeitig daran fest, dass es darüber hinaus einen irreduziblen formalen Überschuss geben muss. Der eigentliche Witz dabei ist nun, dass jede physikalische Eigenschaft parallel in beiden Formen auftaucht, mal als möglicher Wert einer Messung,

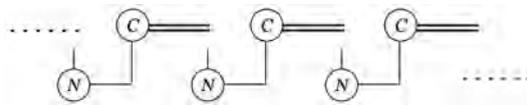
<sup>28</sup> Henry Margenau, *The Nature of Physical Reality*, New York, NY, Toronto u. London, 1950, S. 237.

<sup>29</sup> Ebd., S.84 f. und S. 220-244.

mal als freie Variable. Beispielsweise wird Zeit mal durch die Schläge einer Uhr definiert, mal als unabhängige Variable in den Gleichungen der Mechanik.<sup>30</sup>



1 – Epistemische und konstitutive bzw. formale Variablen



2 – Die Unterscheidung von Margenau übertragen auf die Latour'sche operative Kette

Wie Latour betont Margenau, dass erst die Vielzahl von Beziehungen zwischen Eigenschaften deren Referenz objektiviert.<sup>31</sup> Jede Variable vereinigt also epistemische und formale Aspekte. Aus etwas Distanz entspricht diese Doppelfunktion offenbar dem einzelnen Schritt der operativen Kette im *Pedologen-Faden*: Eine Messung (wie der Erdklumpen hinter dem Loch der Farbkarte) und die verallgemeinerte Existenz einer Eigenschaft (wie der Farbcode) sind fest in ein Objekt integriert. In Latours Worten: Die formale Definition amplifiziert, die epistemische reduziert. Es ist nicht schwer, den Begriff der Variable von der Vorstellung eines bestimmten Mediums (Schrift) zu lösen. Was allerdings die Modelle unterscheidet ist die orientierende Achse: Epistemische und konstitutive Variablen sind nicht wie operative Ketten hintereinandergeschaltet, so dass hier nicht auf der einen Seite die Messung und auf der anderen das wissenschaftliche Papier steht. Die „Amplifikation“ entspricht also nicht dem Formalen. Außerdem steht bei Margenau die Natur als durch-

<sup>30</sup> Ebd., S. 234.

<sup>31</sup> Ebd., S. 86 f.

gezogene Linie den Konstrukten (C) gegenüber, während sie bei Latour in das Kontinuum der Kette aufgelöst ist (vgl. Abb. 1 und 2).

Um herauszufinden, ob diese Auflösung vollständig ist, oder ein vielleicht entscheidender Rest bleibt, kann man nun prüfen, ob und inwiefern auch in „theoretischen“ Forschungsprozessen operative Ketten den Abgrund zwischen Welt und Denken bzw. zwischen Natur und Konstrukt auflösen. Variablen würden dann, als eine Form von *boundary objects*<sup>32</sup> die Nähte bilden zwischen Denken und Gegenstand, Entwurf und Erklärung, Messen, Rechnen, und nicht zuletzt auch zwischen verschiedenen Abteilungen, deren Ergebnisse kommensurabel gehalten werden müssen. Sie tauchen in unserem Projekt am DESY in den verschiedensten Formen auf, in Daten, Aufsätzen und Computerprogrammen. Einige geben sich, im Sinne Margenaus, als epistemische Variablen zu erkennen: Die Daten, die aus den Experimenten stammen, verknüpfen sie miteinander (z. B. Längs- und Querimpuls nach der Ablenkung  $x$  und  $k$ ). Andere beschreiben Eigenschaften oder Zustände und sind damit formale Variablen – in der theoretischen Herleitung beispielsweise die Eigenschaften des untersuchten Protons (z. B. unintegrierte Gluonendichte  $xg$ ) oder der Gluonenwolke selbst (relative Geschwindigkeit der Gluonen  $y$ ).

Im Programmcode zeigt sich die Eigenart von Variablen besonders deutlich. Sie erlauben, formalisierte physikalische Beziehungen auf bestimmte Wertebereiche abzubilden, eine Diskretisierung, die nicht nur die verschiedenen Platzhalter mischt, sondern auch deren spezifische Werte (Messdaten, Näherungen, Voraussagen). Einerseits einfach eine rechnerische Fortsetzung der experimentellen Verkettung, stellen sie andererseits gerade solche Eigenschaften dar, die keiner Messung zugänglich sind.<sup>33</sup> Das Wesentliche ist leicht zu übersehen, wenn man nur den Buchstaben betrachtet, und die Variable für ein „einfach“ sprachliches Zeichen nimmt, das nichts anderes wäre als ein Wort, das für eine Bedeutung oder einen Sinn einstünde. Indem sie in Berechnungen eingeht, ist jede Variable ein generischer Ort, der von Zwängen beherrscht ist, welche möglichst genau für die physikalischen Randbedingungen eintreten können sollen. Auch wenn im Prinzip eine Variable alle Werte annehmen kann, ist das für deren Kombinationen nicht mehr der Fall. Mit Margenau gesagt: Insofern ein Wert indirekt von einem anderen abhängt ist er epistemisch, aber insofern er in Kombination mit anderen steht, ist er konstitutiv.

Trotzdem bleibt auch der formale Text zunächst davon unbeeinflusst, welche dieser Orte tatsächliche Entitäten oder Eigenschaften meinen und welche nur Teil des Verfahrens sind, der notwendig ist, um sie zu verstehen. Der Unterschied zwischen epistemischen und formalen Variablen betrifft verschie-

<sup>32</sup> Susan Leigh Star/James R. Griesemer, „Institutional Ecology, ‚Translations‘ and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley’s Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39“, in: *Social Studies of Science* 19, 3 (1989), S. 387-420.

<sup>33</sup> Den objektiven Status dieser ‚Simulationen‘ untersucht z. B.: Gabriele Gramelsberger, *Computerexperimente – Zum Wandel der Wissenschaft im Zeitalter des Computers*, Bielefeld, 2010.

dene Aspekte der Übersetzung. In dieser Hinsicht gleichen also algorithmische Verfahren den anderen Experimentalsystemen: Die Variablen machen es *in sich* unentscheidbar, welcher Teil zum Apparat und welcher zum Gegenstand gehört. Als Nahtstellen bleiben sie zumindest teilweise unbestimmt.<sup>34</sup> Bei genauem Hinsehen ist diese Doppeldeutigkeit allerdings nicht auf Algorithmen und Messdaten beschränkt. Sie betrifft ebenso den mathematischen Teil des physikalischen Arguments, indem jeder Platzhalter, wie Margenau es wollte, eine epistemische oder eine konstitutive Rolle spielen kann.

### Operator

Wie folgt man also formalen Akteuren? In der Annahme, dass die operativen Ketten sich als Beziehungen zwischen Variablen darstellen, bin ich bisher den mehr oder weniger bruchlosen Übergängen zwischen Messung und Theorie gefolgt. Die Spur lief entlang von Übersetzungsoperationen, die zwischen Medium und Medium und zwischen Gegenstand und Gegenstand vermitteln.<sup>35</sup> Im mathematischen Sinn lassen sich diese Operationen als *Funktionen* interpretieren. Latour verwendet die Metapher des Stromkreises einerseits, um darauf hinzuweisen, dass es Entitäten nur insofern gibt, als sie in solche Operationen eingebunden sind, andererseits, um zu zeigen, dass der Abgrund zwischen Denken und Welt zwei Schnitte in dieser Leiterbahn sind. Ein physikalischer Zustand wäre demnach nichts als ein kontinuierlicher Fluss von Operationen, oder im Kontext formaler Herleitung von Funktionen. Das verallgemeinerte Symmetrieprinzip zieht diesen Stromkreis nach sich: Jeder der angeschlossenen Beteiligten beeinflusst die Existenz aller anderen.

Nun ist die Quantenmechanik berüchtigt für eine ganz ähnliche Abhängigkeit, und es ist nicht ganz von der Hand zu weisen, dass sie auch Latours Symmetrieprinzip inspiriert hat. Als kleiner Twist am Ende seiner ausführlichen kritischen Würdigung der speziellen Relativitätstheorie betont er beispielsweise, dass „[t]he philosophy of quantum mechanics reintroduced what Einstein had fought all along: independent and active observers, so active indeed that they influenced what they observe ... This revival of relativism had to be opposed.“<sup>36</sup> Allerdings ist die Idee, dass es hier einfach der Beobachter ist, der die Resultate beeinflusst, nur eine mögliche Deutung der Quantenmechanik, die

<sup>34</sup> Hans-Jörg Rheinberger, *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Frankfurt/M., 2001.

<sup>35</sup> Die Probleme, die man sich einhandelt, wenn man behauptet, physikalische Gesetze würden die Phänomene *verursachen*, umschifft man mehr oder weniger elegant, wenn man die Übersetzung aus der Kausalkette ausklammert. Vgl. Nancy Cartwright, „In Defence of ‘This Worldly’ Causality: Comments on van Fraassen’s Laws and Symmetry“, in: *Philosophy and Phenomenological Research* 53, 2 (1993), S. 423-429.

<sup>36</sup> Bruno Latour, „A Relativistic Account of Einstein’s Relativity“, in: *Social Studies of Science* 18, 1 (1988), S. 3-44: 36.

seit ihren Anfängen bis heute eine große Faszination ausgeübt hat.<sup>37</sup> Man übersieht leicht, dass im Zentrum der Sache zunächst eine irreduzible Unbestimmtheit steht: Bestimmte Variablen sind *konjugiert*, das heißt, ihre jeweiligen Werte können prinzipiell nicht unabhängig voneinander exakt bestimmt werden. Die klassische operationale Sicht deutet nun diese eigentümliche Abhängigkeit konsequent als Einfluss der Beobachtungstechnik auf das Beobachtete: Die Messung der einen Variable (z. B. Ort) beeinflusst die Messung der anderen Variable (z. B. Impuls). Dies ist jedoch nicht die einzig stimmige Interpretation.<sup>38</sup>

Die geläufige mathematische Beschreibung hält sich an diesem Punkt mit Zuschreibungen von Handlungsmacht zurück: Statt Ereignisse (und ihre Messung) als Übersetzung von Zuständen in neue Zustände darzustellen, führt sie sogenannte *Operatoren* ein, die von dieser Kontinuität abzusehen erlauben.

Diese Verschiebung lässt sich als eine zweite Medialisierung verstehen: Wenn *Funktion* eine Form der Übersetzung, also eine Operation meint (wie etwa die Übersetzung von Farbfeld zu Farbcode), bilden dagegen Operatoren Übersetzungen von Übersetzungen. Dabei sind die „übersetzten Übersetzungen“ nicht auf feste Zustände bezogen, sondern grenzen nur eine prinzipielle Unbestimmtheit genauer ein.<sup>39</sup> Offenbar taucht der von Latour ins Spiel gebrachte James'sche Abgrund, gedacht als problematische Inkohärenz von Welt und Sprache, hier als Unanschaulichkeit der Übersetzung selbst wieder auf. Sie zwingt, auf formale Verfahren zuzugreifen, um trotz unscharfer, hypothetischer, problematischer, hybrider Gegenstände und Methoden einen konsistenten Diskurs zu erhalten; das Abstrakte ist nicht der eine Pol der Kette, durch welche Referenz zirkuliert, sondern das Abstrakte zirkuliert selbst mit.

Die Variablenkette stellt daher weniger eine Verkettung von jeweils zugänglichen Zwischenzuständen dar (seien sie nun materiell oder formal). Sie ist deshalb so wirksam, weil sie eine Verkettung von etwas Ungeklärtem oder Unzugänglichem erlaubt. Der Operator steht im Gegensatz zur Operation. Während Operationen transportieren, abbilden, fabrizieren, schließen Operatoren allgemeine Bedingungen für mögliche Abbildungen in sich ein. Vielleicht könnte man sagen, dass auch die operative Kette eine Übersetzung von Übersetzungen ist, wenn man sie sich quer zur Operation liegend vorstellt: Anstatt Ergebnisse von Übersetzungen in neue Ergebnisse zu verwandeln, stellt sie Beziehungen zwischen möglichen Übersetzungen her.

<sup>37</sup> Jan Faye, „Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics“, in: Edward N. Zalta (Hg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford, CA, 2008, online unter: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/qm-copenhagen/>, zuletzt aufgerufen am 22.08.2011.

<sup>38</sup> Vgl. Ebd. Insbesondere hat mich auch folgender Text inspiriert, der konjugierte Variablen auch außerhalb der Quantenphysik behauptet: Gabriel Catren, „Can Classical Description of Physical Reality Be Considered Complete?“, in: Michel Bitbol/Pierre Kerszberg/Jean Petitot (Hg.), *Constituting Objectivity: Transcendental Perspectives on Modern Physics*, Dordrecht, Heidelberg, 2009, S. 375-386.

<sup>39</sup> Das Verhältnis zwischen Operatoren und Symmetrie-/Erhaltungsprinzipien wäre eine Diskussion an dieser Stelle wert, die ich hier aber leider unter den Tisch fallen lassen muss.

Anstatt sich zu verflüssigen, kehrt der Abgrund zwischen Welt und Denken, dann allerdings im Inneren der operativen Kette, wieder, vervielfältigt und fein verteilt, was insbesondere dann gilt, wenn die Methode sich genau darin bewährt, zuallererst überhaupt die richtige Methode zu finden. Wenn man den Weg bereits kennt, der von der Universität zum Wald und zurück führt, ist der Stromkreis ungebrochen und anschaulich. Dann kann auch die Praxis eine vereinfachende, anschauliche Präsenz gewinnen. Die Suche nach einem neuen Weg führt jedoch eine Unbestimmtheit ein, die verlangt, dass Unbekannte und allgemeine Prinzipien in die Kette eingehen, die über den Zustand einer Variable hinausgehen und die Verkettungen selbst in die Situation einbeziehen müssen.

Wenn operative Ketten im *Pedologen-Faden* ihre Überzeugungskraft daher nehmen, dass sie in jedem einzelnen Schritt anschaulich eine Größe in die andere übersetzen, und Unanschauliches (nämlich die Entwicklung des Waldes) in Anschauliches verwandeln, ist es im hier beschriebenen Fall der theoretischen Physik genau umgekehrt. Der womöglich noch anschaulichste Punkt der Kette ist der epistemische Pol, an dem Spuren von Teilchen verfolgt und ihre Ablenkungen in Abhängigkeit des Impulses registriert werden.<sup>40</sup> Dieser Punkt erzeugt zwar ein Widerlager für die vielfachen möglichen Formalisierungen – er ist aber genau dort nicht mehr anschaulich, wo es interessant wird: Nämlich an den Stellen, an denen die Theorie aussagekräftig wird und zwischen Methode und Gegenstand unterscheiden kann.

Das Schema der operativen Kette erlaubt es Latour, den Kreislauf der Referenz zwischen unübersichtlicher Feldforschung und übersichtlicher Universitätsforschung nachzuziehen, und dabei die hybride Struktur jedes Schritts zu zeigen. Trotz der Zirkulation ohne letzten Haltepunkt ist die Kette in eine Richtung polarisiert: Sie führt von einem reduzierten (dem Urwald) zu einem amplifizierten Extrem (dem Papier). Die Entscheidungen bezüglich der Frage *was gemessen wird*, fallen jeweils am materiellen Ende einer Übersetzung, die Rückschlüsse daraus fallen am formalen Ende. Das Problem in der theoretischen Physik ist allerdings genau umgekehrt: Die Daten vom „reduzierten Pol“, die Messwerte aus den Experimenten der letzten Jahre, sind für sich genommen zumindest in formaler Hinsicht einfach und anschaulich. Das Problem ist vielmehr, auf welche Frage dieses Ergebnis eigentlich die Antwort ist – die Analyse des experimentellen Verfahrens selbst gibt darüber zu wenig Aufschluss; erst der Urwald der Gleichungssysteme erlaubt es, nicht nur das Photon zu sehen, sondern „zu sehen, *was* das Photon sieht“.

---

<sup>40</sup> Warum auch diese Anschaulichkeit eine indirekte Verkettung ist, zeigt Galisons Analyse der Entwicklung der Detektoren: Galison (1997), *Image & Logic*, S. 433-688.

## Literatur

- Bloor, David, *Knowledge and Social Imagery*, Chicago, IL, London, 1991.
- Bridgman, Percy Williams, *The Logic of Modern Physics*, New York, NY, 1927.
- Ders., „The New Vision of Science“, in: *Harper's* 158, (1929), S. 443-454.
- Cartwright Nancy, „In Defence of ‚This Worldly‘ Causality: Comments on van Fraassen's Laws and Symmetry“, in: *Philosophy and Phenomenological Research* 53, 2 (1993), S. 423-429.
- Chang, Hasok, „Operationalism“, in: Edward N. Zalta (Hg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford, CA, 2009, online unter: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/operationalism/>, zuletzt aufgerufen am 22.08.2011.
- Catren Gabriel, „Can Classical Description of Physical Reality Be Considered Complete?“, in: Michel Bitbol/Pierre Kerszberg/Jean Petitot (Hg.), *Constituting Objectivity: Sentential Perspectives on Modern Physics*, Dordrecht, Heidelberg, 2009, S. 375-386.
- Daston, Lorraine/Galison, Peter, *Objektivität*, Frankfurt/M., 2007.
- Debs, Talal A./Redhead, Michael L. G., *Objectivity, Invariance, and Convention: Symmetry in Physical Science*, Cambridge, MA, 2007.
- Faye, Jan, „Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics“, in: Edward N. Zalta (Hg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford, CA, 2008, online unter: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/qm-copenhagen/>, zuletzt aufgerufen am 22.08.2011.
- Galison, Peter, *Image & Logic: A Material Culture of Microphysics*, Chicago, IL, 1997.
- Gramelsberger, Gabriele, *Computerexperimente – Zum Wandel der Wissenschaft im Zeitalter des Computers*, Bielefeld, 2010.
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich, *System der Wissenschaft: erster Teil, Die Phänomenologie des Geistes*, Philosophische Bibliothek 414, Hamburg, 1988. [1807]
- James, William, *Pragmatism and the Meaning of Truth*, Cambridge, MA, 1975. [1907]
- Kerkhove, Bart Van/Comijn, Hans, „The Importance of Being Externalist about Mathematics – One More Turn?“, in: *Philosophica* 74, (2004), S. 103-122.
- Kneer, Georg/Schroer, Markus/Schüttpelz, Erhard, *Bruno Latours Kollektive. Kontroversen zur Entgrenzung des Sozialen*, Frankfurt/M., 2008.
- Kowalski, Henri/Lipatov, Lev N./Ross, Douglas A./Watt, Graeme, „Using HERA Data to Determine the Infrared Behaviour of the BFKL Amplitude“, in: *The European Physical Journal C – Particles and Fields* 70, 4 (2010), S. 983-998, DOI: 10.1140/epjc/s10052-010-1500-6.
- Latour, Bruno, *Wir sind nie modern gewesen*, Frankfurt/M., 2008.
- Ders., „Visualisation and Cognition: Drawing Things Together“, in: *Knowledge and Society Studies in the Sociology of Culture Past and Present*, 6 (1986), S. 1-40.
- Ders., „A Relativistic Account of Einstein's Relativity“, in: *Social Studies of Science* 18, 1 (1988), S. 3-44.
- Ders., „Der ‚Pedologen-Faden‘ von Boa Vista – eine photo-philosophische Montage“, in: *Der Berliner Schlüssel. Erkundungen eines Liebhabers der Wissenschaften*, Berlin, 1996, S. 191-248.
- Margenau, Henry, *The Nature of Physical Reality*, New York, NY, Toronto u. London, 1950.

- Pickering, Andrew, *Constructing Quarks: a Sociological History of Particle Physics*, Chicago, IL, London, 1984.
- Rheinberger, Hans-Jörg, *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Frankfurt/M., 2001.
- Rohrhuber, Julian, „Intractable Mobiles. Patents and Algorithms Between Discovery and Invention“, in: Tristan Thielmann/Erhard Schüttpelz/Peter Gendolla, *Akteur-Medien-Theorie*, Bielefeld, (im Erscheinen).
- Roßler, Gustav, „Kleine Galerie neuer Dingbegriffe: Hybriden, Quasi-Objekte, Grenzobjekte, epistemische Dinge“, in: Markus Schroer/Georg Kneer/Erhard Schüttpelz (Hg.), *Bruno Latours Kollektive: Kontroversen zur Entgrenzung des Sozialen*, Frankfurt/M., 2008, S. 234-258.
- Rottenburg, Richard, *Weit hergeholte Fakten: eine Parabel der Entwicklungshilfe*, Stuttgart, 2002.
- Schüttpelz, Erhard, „Der Punkt des Archimedes. Einige Schwierigkeiten des Denkens in Operationsketten“, in: Markus Schroer/Georg Kneer/Erhard Schüttpelz (Hg.), *Bruno Latours Kollektive: Kontroversen zur Entgrenzung des Sozialen*, Frankfurt/M., 2008, S. 234-258.
- Star, Susan Leigh/Griesemer, James R., „Institutional Ecology, ‚Translations‘ and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley’s Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39“, in: *Social Studies of Science* 19, 3 (1989), S. 387-420.