

Wolfgang Hagen

Das atlantische Standard Modell - Anmerkungen zu einer Genealogie der Elektrizität und ihrer Medien¹

Medien und Modelle

Die ersten technischen Kommunikationsmedien der Moderne – die Telegrafie, das Telefon, das Radio – sind aus der Umwidmung elementarer Bausteine physikalischer Experimentieranordnungen der Elektrizität hervorgegangen. Im Fall der Telegrafie ist Christian Oerstedts grundlegendes Experiment der Ablenkung einer Magnetnadel durch elektrischen Strom das Paradigma; im Fall des Telefons sind es die „gefühlten Dinge“, die Alexander Graham Bell elektrischen Spulen und Membranen ‚ablauschte‘; im Fall des Radios sind es Umwidmungen von Experimentalgeräten von Heinrich Hertz, Alexander Popov und Edouard Branly, die Guglielmo Marconi für die Anfänge der englischen Radiotelegrafie zusammenstellte. Im folgenden möchte ich nicht diesen historischen Umwidmungsvorgängen selbst, sondern ihren epistemologischen Voraussetzungen nachgehen. Wenn nämlich tatsächlich physikalische Experimentalanordnungen für ‚andere Zwecke‘ verwendet werden können, und in völlig neuen Kontexten ein ‚Eigenleben‘ entfalten, stellt sich die Frage, welcher Bruch mit dem, woher sie stammen, in diesen Prozess eingeschlossen ist. Damit stellt sich die Frage nach dem Verhältnis von Theorie, Experimentation und Instrumentation der Physik als Wissenschaft.

Der Blick auf die ‚neueste‘ Physik, also auf den Stand der Mikrophysik der Teilchen und der Atome etwa seit 1980, zeigt, dass die internationale Forscherorganisation der Physik übereingekommen ist, den Stand der Dinge in einem sogenannten „Standard Modell“ epistemologisch abzusichern. Standard Modelle umfassen den Diskurs von Theorie, Experiment und Instrumentation der Physik, der einen historischen Begriff dieser Wissenschaft erlaubt. Zu bemerken ist daran, dass sich die Physik damit selbst in gewisser Weise historisiert. Seiner ‚aktuellen‘ Konstruktion will der folgende Aufsatz nachgehen. Es zeigt sich, dass Standard Modelle der Physik die Rahmenbedingungen physikalischer Experimente und ihre theoretischen Interpretationen, Anschreibungen und Voraussagen ex post gut beschreiben. Wieweit diese ‚innere‘ Sicherung des wissenschaftlichen Stands der Forschung geht, ist eine epistemologische Frage, die ich abschließend, in Anschluss an einige Thesen Michel Foucaults, vor dem Konzept einer Archäologie des Wissens erörtern möchte.

Was ist „Elektrizität“?

Was wir „Elektrizität“ nennen, wird nach dem Stand heutiger Physiklehrbücher die ‚Gesamtheit von Erscheinungen, die durch elektrische Ladungen sowie elektrische und magnetische Felder hervorgerufen werden‘² genannt. Umschrieben wird damit eine

material interaction that arises from electromagnetic forces between electric charges at rest and in motion,

oder eine

¹ Expose für die Konferenz: „Electric worlds: creations, circulations, tensions, and transitions, from the 19th to the 21st centuries“ 18/19 December 2014 Paris, France.

² Lenk u.a., Fachlexikon:1989:1, 211.

manifestation d'une forme d'énergie associée à des charges électriques statiques ou dynamiques.³

Diese knappen Lemmata fassen ein über fünf Jahrhunderte, in sechzehn Menschengenerationen ganz allmählich gewachsenes, überwiegend experimentell gegründetes Erschließungswissen eines komplexen Effekts zusammen, der makro- und mikrokosmische Dimensionen umfasst und in dem sich zugleich der Name ausspricht für das

champ spécial de la science et de la technologie qui traite des phénomènes électriques.⁴

Elektrizität ist eine 'Erscheinung', die schon im alltäglichsten Umgang bruchlos in mikrophysikalische Dimensionen übergeht.⁵ Nehmen wir nur Heisenbergs keineswegs vereinfachenden Satz:

Die Zerlegung des chemischen Atoms in Atomkern und Elektronen ist schon mit einfachen elektrischen Entladungsvorgängen möglich.⁶

Vermutlich sind solche elektrischen Entladungsvorgänge, der kleinste Schlag, der beim Laufen auf bestimmten Teppichstoffen an der nächsten Ecke überspringt, mit Knacksen, Knistern und Fünkchen verbunden – mutatis mutandis – das Früheste, was Menschen von dem wahrnahmen, was wir heute Elektrizität nennen. Alles begann mit dem schon in der Antike beschriebenen Bernstein. Ohne Rückgriff auf atomar-mikrokosmische Vorgangsbeschreibungen, deren Theorien aus dem zwanzigsten Jahrhundert stammen, wäre aber kaum hinreichend zu erklären, was elektrisch an einem geriebenen Bernstein geschieht. Aber nicht diese Sachaufklärung selbst, sondern vielmehr ihre epistemologische Dimension ist für die Frage der Darstellbarkeit einer Geschichte der Elektrizität von Belang. Was nämlich heißt es heute über atomare Dimensionen zu sprechen?

Als ein Wissen von den elementaren Manifestationen der elektromagnetischen Kraft zwischen Ladungen wird Elektrizität in der Physik des ausgehenden zwanzigsten Jahrhunderts im Standard Modell der Teilchen und der Kräfte zusammengefasst, in dem, was von ihren Architekten in aller Unbescheidenheit "*the basic theory of matter*"⁷ genannt wird. In diesem Standard Modell repräsentiert die elektrische Kraft, neben der Gravitation (wiewohl sie in diesem Modell bedeutungslos bleibt), der schwachen und starken Kernkraft, eine der vier Grundkräfte eines auf Unifizierung aller Kräfte angelegten physikalischen Konzepts. Im Standard Modell werden alle Kräfte als 'Nahwirkungskräfte' interpretiert, deren 'force-carrier' oder Austauschteilchen ihre jeweilige Kraft 'vermittelt'. Dies wird angeschrieben nach Maßgabe einer Mathematik, die Quanten- und Feldwirkungen integriert. Unmittelbare Kraftwirkung, also eine 'actio in distans' wird nicht zugelassen.

Elektrizität, wie die Gravitation von prinzipiell unbegrenzter Reichweite, ist eine Nahwirkung, die, wenn es um die Beschreibung ihrer Funktionen und Wechselwirkungen geht, keine physikalisch sinnvolle Grenzziehung zwischen mikro- und makrokosmischen Raumzeit-Dimensionen erlaubt. Die Nahwirkungsweise der Elektrizität, oder um mit Feynman zu spre-

³ Besancon, Encyclopedia:1974, 331.

⁴ IEC, Dictionary:1983, 155.

⁵ Möglicherweise ist Bernhard Riemanns Infinitesimalgeometrie von 1854, ohne die Relativitätstheorie und moderne Atomphysik mathematisch nicht darstellbar wären, auf seine zeitgleiche Beschäftigung mit diesen dimensional Kontinua der Elektrizität zurückzuführen. Boi, Beziehungen:1994.

⁶ Heisenberg, Probleme:1970, 418.

⁷ Hoddeson u.a., Rise:1997, 3.

chen, ihr "Mechanismus"⁸, wird überhaupt erst hinreichend durch das Standard Modell der Teilchenphysik angeschrieben. In diesem Modell erscheint die elektrische Kraft zwar – als freier quantitativer Parameter – unvereint neben drei anderen Kräften, aber in die Struktur ihrer Nah-, sprich teilchengestützten Wechselwirkung ist sie übergreifend eingebunden.

Vier Wechselwirkungskräfte

Das Standard Modell legt sich fest darauf, dass nicht mehr als vier sogenannte "Grundkräfte" der Materie existieren. Die vier Grundkräfte nach dem derzeit gültigen Standard Modell der Teilchenphysik in der aufsteigenden Reihenfolge ihrer Wirkungsstärke sind:

- Die *Gravitation*, die schwächste Kraft, zureichend von der Allgemeinen Relativitätstheorie beschrieben, prinzipiell wirksam auf alle Teilchen mit Masse, nachweisbar vor allem an astronomischen Objekten, repräsentiert durch das masselose Austauschteilchen "Graviton" (für das experimentell bislang kein Nachweis existiert). Praktisch unwirksam in mikrokosmischen Dimensionen.
- Die *Schwache Wechselwirkungskraft*, verantwortlich für den radioaktiven Beta-Zerfall, wirksam auf alle Teilchen, die am Zerfall beteiligt sind, repräsentiert durch die massehaltigen Austauschteilchen ($W^\pm$, Z - seit 1984 nachgewiesen). Die Kombination ("Verschmelzung"⁹) von elektrischer Kraft und schwacher Wechselwirkungskraft, "electroweak" - elektroschwache Theorie genannt, gilt als geleistet, angeschrieben von der Glashow-Salam-Weinberg-Theorie¹⁰.
- Die *Elektrische* (oder elektromagnetische) *Kraft*, makrokosmisch zureichend von den Maxwellschen Gleichungen beschrieben, nach welcher Elektrizität und Magnetismus nur unterschiedliche Manifestationen derselben Kraft sind, wirksam auf alle geladenen Teilchen, verantwortlich für den Zusammenhalt des (aus positiv geladenen Protonen und negativ geladenen Elektronen zusammengesetzten) Atoms, repräsentiert durch das masselose Austauschteilchen "Photon", dessen Wechselwirkungen durch die Quantenelektrodynamik angeschrieben werden.
- Die *Starke Wechselwirkung*, wirksam ausschließlich auf den Zusammenhalt der "Quarks" (jener Teilchen, die z.B. in Protonen 'gebunden' sind), und damit zugleich den (Atom-)Kern selbst zusammenhalten, repräsentiert durch das massehaltige Austauschteilchen "gluon", angeschrieben von der Quantenchromodynamik.

Setzt man (bezogen auf mikrokosmische Abstände) die Stärke der elektromagnetischen Kraft gleich eins, so ist die starke hundert mal stärker, die schwache Wechselwirkung dagegen tausendmal schwächer. Die Gravitation hingegen verschwindet praktisch: Im Mikrokosmos ist sie um den Faktor 10^{-36} kleiner als die elektromagnetische Kraft; das ist eine Zahl mit 35 Nullen hinter dem Komma.¹¹

Neben unterschiedlichen Stärkegraden der Wechselwirkungskräfte enthält das Standard Modell weitere mindestens sechzehn "freie Parameter", d.h. unterschiedliche, nicht aus der Theorie ableitbare Zahlenwerte für Teilchenmassen, Ladungen und Kraftkonstanten; eine Schwäche des Modells in den Augen der Theoretiker, die es seither als Ausgangspunkt der Entwick-

⁸ Feynman, Wesen:1967, 46ff.

⁹ Davies u.a., Superstrings:1988, 75.

¹⁰ Schweber, Perspective:1997, 670.

¹¹ Grotelüschen, Klang:1999, 26.

lung einer "Grand Unified Theory" nehmen.¹² Andererseits erlaubt das Modell bereits sinnvolle, kräfteübergreifende Zuordnungen von Teilchen nach ihren Spineigenschaften: Es definiert "Leptonen" mit Vielfachen von Spin 1/2, "Bosonen" mit dem Vielfachen von Spin 1. Zu den Leptonen zählt z.B. das Elektron, zählen aber auch die „Quarks“, die als 'Bausteine' der Protonen, also der Teilchen im Atomkern, angesehen werden. Zu den Bosonen zählt beispielsweise das Photon, das Teilchen des Lichts und aller elektromagnetischer Strahlung.

The model is referred as to 'standard', because it provides a theory of fundamental constituents – an ontological basis for describing the structure and behaviour of all forms of matter (gravitation excepted), including atoms, nuclei, strange particles, and so on. In situations where appropriate mathematical techniques are available, it can be used to make quantitative predictions that are completely in accord with experiment. There are no well-established results in particle physics that clearly disagree with this theory.¹³

Modell und Historisierung

Wissenschaftsapparate der Hochenergiephysik sind kilometerlange Teilchenbeschleuniger, Zyklotrone, "Large Electron Positron Collider", Szintillographen, Nebelkammern, Blaskammern, Geigerzähler, "Time Projection Chambers" und andere computergestützte Detektorsysteme (ALEPH, DELPHI, u.a.).¹⁴ Experimente mit diesen Geräten, interpretiert in mathematisch ungewöhnlichen und neuartigen Theorien führten zwischen 1964 und 1980 zur Ausbildung des – wie der Wissenschaftshistoriker John Lewis Heilbron sagt – "atlantischen" Standard Modells¹⁵, das nunmehr, am Ende des zwanzigsten Jahrhunderts, für die Grundlagenforschung der Teilchen-Physik zur "normal science" (im Sinne Thomas Kuhns) und also zum Schullehrstoff geworden ist.¹⁶

Folgt man dem theoretischen Physiker Peter Mittelstaedt, so kennt die Physik, zumal in der Darstellung ihrer Gesetze und ihrer Verfahren, von den Voraussetzungen ihrer Epistemologie her keine ‚Geschichte‘.¹⁷ Standard Modelle aber, wie das aktuelle, d.h. seit nunmehr über drei Jahrzehnten in der Teilchenphysik etablierte, erlauben dagegen nicht nur eine Historisierung, sondern ihre Etablierung erzwingt einen dezidiert historisch zu nennenden Prozess der Verständigung. Einer der Architekten des aktuellen Standard Modells, Nobelpreisträger für seine Arbeiten zur Vereinigung der schwachen und elektromagnetischen Kraft, heute enthusiastischer Befürworter der „Superstringtheorie“, Steven Weinberg,¹⁸ reflektiert die Herausbildung des Modells explizit historisch, d.h. mit dem zugehörigen Einschlag von Epochalität:

The history of science is usually told in terms of experiments and theories and their interaction. But there is a deeper level of the story - a slow change in the attitudes that define what we take as plausible and implausible in scientific theories. Just as our theories are the product of experience with many experiments, our attitudes are the product of experience with many theories. ... The history of science in general ... naturally deals with things that happened, with successful

¹² Galison, Theory:1995, 370ff.

¹³ Hoddeson u.a., Rise:1997, 3.

¹⁴ Vgl. auch Galison, Image:1997, 668f.

¹⁵ Heilbron, Standard:1997, 52.

¹⁶ 29.

¹⁷ Vgl. in diesem Band S. **Error! Bookmark not defined.**

¹⁸ Gespräch mit Weinberg in: Davies, Superstrings:1988, 247.

theories and experiments, but I think that the most interesting part of the history of science deals with things that did not happen, or at least not when they might have happened. ... Experimental discoveries are reported in The New York Times, and new theories are at least reported in physics journals, but the change in our attitudes goes on quietly and anonymously, somewhere behind the blackboard.¹⁹

Die Historisierung von Standard Modellen der Physik liefert einen Schlüssel für die Darstellung der Geschichte der Physik in Bezug auf ihren Forschungsprozess, der zugleich den Anschluss an das eröffnen könnte, was in dieser Geschichte selbst 'verborgen' geblieben ist ("things that did not happen"). Erschließen liesse sich dieses Verborgene nur in der Diskussion des epistemologischen Status sowohl der Physik als Wissenschaft, wie zugleich der Geschichte der Wissenschaft Physik als Wissenschaft.

Andere Protagonisten des aktuellen Standard Modell vollziehen im Sinne Kuhns ebenfalls einen historisierenden "Paradigmenwechsel" und verstehen sich, mit den Worten Silvan Schwebers, als eine "changed intellectual scene"²⁰. Manches in der Geschichte des aktuellen Standard Modells erweckt dabei den Anschein, als habe die herrschende wissenschaftliche 'community' aus einer gewissen Ex-Post-Kanonik der Wissenschaftsgeschichte, die ihr am nächsten liegt, nämlich die kuhnianische, gleichsam im Voraus Lehren für das eigene aktuelle Selbstverständnis geborgt; so als besage der Kuhnsche Paradigma-Begriff, dass in einer wissenschaftlichen Gemeinschaft immer wieder einmal das Paradigma wechseln *müsse*. Aber, der Wechsel in der "intellectual scene" hin zu dem neuen Standard Modell geht in Wahrheit weit über das hinaus, was man 'Selbstverständnis' oder 'Paradigma' nennen mag.

In Absetzung zu den vielfältigen chaotischen 'Elementartheorien' der frühen sechziger Jahre²¹ lässt das Standard Modell in einer Mathematik der 'Renormalisierbarkeit' und durch elementare Konzepte 'gebrochener Symmetrien' ein historisches Moment wirksam werden, das innerhalb des Standard Modells sehr freimütig und uneindeutig als eine Art physikalische Evolutionstheorie der Materie interpretiert wird.

The 'immutable' laws of physics could become as ephemeral as those of organic life, 'immutable' only for observations limited in space, and even more exotic, the evolution of these laws would depend on history, a history that has followed a path that, to a great extent must have been determined by chance.²²

Historisch in dieser Form einmalig hat sich die "community" der Physiker Ende des ausgehenden zwanzigsten Jahrhunderts auf einem "tieferen Level" als dem von Theorie, Erfahrung und Experiment für ein Modell ausgesprochen,²³ das als solches bereits in seinem Bestand historisch reflektiert, insofern es sich zentral auf historische, heißt evolutionäre oder evolutionistische Annahmen stützt.

The establishment of the Standard Model and the subsequent attempts to unify the electroweak and strong interactions in grand unified theories, resulted in exciting interdisciplinary activities in cosmology and elementary-particle physics.²⁴

¹⁹ Weinberg, Attitudes:1997, 36.

²⁰ Schweber, Perspective:1997, 669.

²¹ Hoddeson, Rise:1997, 4.

²² Coccioni, Role:1970, zit. nach Schweber, Perspective:1997, 672.

²³ vgl. Weinberg, Attitudes:1997, 36.

²⁴ Schweber, Perspective:1997, 669.

Ein evolutionär-kosmologische Anteil ist, wie nun näher zu sehen sein wird, im aktuellen Standard Modell unverkennbar.

Big Bang Evolution

Zum ersten Mal haben wir eine Theorie, die sich sowohl mit der mikroskopischen Welt - der Welt hoher Energien und kleiner Abstände - als auch mit der Geburt des Universums und dem Ursprung der Welt beschäftigt.²⁵

Sagt Sheldon Glashow, Harvard-Nobelpreisträger für seine grundlegenden Arbeiten für die Vereinigung der schwachen und elektromagnetischen Kraft. Leptonen-Partikel wie das "Muon" oder das "Tau", ebenso ihre Neutrino-Entsprechungen, aber auch die Ladungen der "Charm-", "Strange-", oder "Top-" Quarks existieren 'in der Natur', wie sie uns umgibt, nicht. Sie existieren messbar nur in kosmischer Strahlung oder eben in den Detektorensystemen hochenergetischer Teilchenbeschleuniger. Werner Heisenberg, vielleicht der letzte große Platoniker der theoretischen Physik, bestritt aufgrund dieses Sachverhalts noch vor wenigen Jahrzehnten den Existenzcharakter solcher 'subnuklearer' Teilchen überhaupt. Existenz werden sie ja nur unter Einwirkung größter Energien und damit allein in der Folge einer gleichsam künstlich erzeugten Energie-Masse-Relation. Heisenberg vermutete,

dass alle diese Elementarteilchen in gleicher Weise fundamental oder nicht fundamental sind; dass es keine kleinsten fundamentalen Einheiten gibt, sondern dass es eben die Grundformen der Materie sind, die sich bilden, wenn genügend Energie zur Verfügung steht, um sie zu bilden.²⁶

Die Teilchen, die nur existieren, wenn man sie mit „genügend Energie“ zur Messbarkeit bringt, sind in den Augen Heisenbergs als nicht mehr und nicht weniger als die messbar gewordene ‚Idee‘ der Materie. Dieser Platonismus, der die Masse-Energie-Relation auf ein fundamentales Mathemem einer Masse-Energie-Unschärfe zu reduzieren sucht, wird im Standard Modell aufgekündigt, möglicherweise auf Kosten eines noch universelleren Platonismus, dessen gültige Formulierung allerdings noch aussteht.

Insofern die subatomaren oder subnuklearen Partikel in kosmischer Strahlung und Beschleunigern nachweisbar sind, gelten sie im Standard Modell als 'Überreste' und damit als Botenstoffe aus der Geschichte des Universums, aus der Geschichte des "Big Bang". Eine Art platonischer Uridee oder transbiblischer Säkularschöpfung. Das Standard Modell beinhaltet immanent zwingend Aussagen über die Evolution des Universums, das 10^{-10} Sekunden nach jenem Big Bang eine Art "quark-soap", 1 Sekunde danach Neutronen und Protonen formt, nach 3 Minuten Helium-Kerne und nach einer Million Jahren schwere Atome und Elemente herauszubilden beginnt, während es sich zugleich abkühlt von 10^{15} Kelvin auf die nunmehr erreichten -270 Kelvin, wenige Grade über dem (unerreichbaren) absoluten Nullpunkt.²⁷ Weiter können und wollen wir die physikalischen Einzelheiten des aktuellen 'Standard Modells' nicht diskutieren, sondern nehmen allein seine epistemologischen, das heißt den Status seines Wissens betreffenden Volten auf.

Die epistemologische Grundierung des Standard Modells ist eine historische in dem Sinn, dass es eine alte Spekulation Charles Sanders Peirce bestätigt, Naturgesetze, auch die absolutesten wie die Gravitation, seien als Folge von Evolution, zumindest aber nach Freiheitsgraden einer "chance in nature" zu etablieren. Peirce:

²⁵ Glashow-Gespräch in Davies, Superstings:1988, 213.

²⁶ Heisenberg, Elementarteilchen:1970, 419.

²⁷ vgl. die Slide-Show von Royal Holloway, University of London, in www.hep.ph.rhbc.ac.uk/hep/talk/small_parts.html.

The only possible way of accounting for the laws of nature and for uniformity in general is to suppose them results of evolution. This supposes them not to be absolute, not to be obeyed precisely. It makes an element of indeterminacy, spontaneity, or absolute chance in nature.²⁸

Unabhängigkeit, Spontaneität und Wahlfreiheit in der Natur anzunehmen, verbindet sich in der Selbstreflexion der Anhänger des Standard Modells mit der Gewinnung neuer, innertheoretisch begründeter Freiheitsgrade ihrer Forschung. Hochenergiephysiker, die im Standard Modell gar den allerersten Schritt auf dem Wege zu einer "Großen Vereinheitlichten Theorie" sehen,²⁹ betonen im selben Atemzug die gewachsene Unabhängigkeit im Forschungsprozeß. Hochenergiephysik, die vor dem Horizont einer Peirceschen Evolutionstheorie Freiheitsgrade für die 'chances of nature' zu ermitteln sucht, dürfe nicht abhängen von einem "customary demand of relevance". Gewöhnliche Abhängigkeit im Sinne von Auftragsforschung sei eine "source for corruption in the scientific process".³⁰ Die Nachklänge jahrzehntelanger Unterordnung von Grundlagenforschung unter Rüstungszwecke in der Cold-War-Era Amerikas sind im physikalischen Standard Modell schwerlich überhörbar.

Historische Varianz

So ist der Status ihres Modells historisch weit weniger invariant als seinen Verfechtern lieb sein mag. Steven Weinberg weiß sehr gut, daß Hochenergiephysik, folgt sie den Implikationen ihres eigenen Standardmodells, noch tiefer in die Anfänge des Big Bang „zurückgehen“ muß (also Teilchen mit noch höheren Energien zu produzieren und zu messen hat). Damit hängt der Fortgang der Wissenschaft aber u.a. von der Realisierung milliardenteurer "Super Collider" Projekte ab, also von nationalen oder transstaatlichen Budgets und ihren politischen Bewilligungen.

Noch stärker jedoch als in der politischen Abhängigkeit von Forschungsfonds ist die historische Abhängigkeit des Standard Modells im Epistemologischen spürbar. Ein berühmter Kollege aus der Zunft der Wissenschaftshistorie und ausgewiesener Historiker der Elektrizität, John Lewis Heilbron,³¹ hat dies einer Versammlung von Standard Modellisten vor einiger Zeit drastisch vor Augen geführt. Für ihn war es nicht schwer, dem aktuellen "atlantischen" (weil in einer gleichsam am NATO-Vorbild ausgerichteten Koalition zwischen Europa und Amerika erarbeiteten) Standard Modell die entsprechenden wissenschaftshistorischen Vorläufer beizustellen. Heilbron rekonstruierte zum Vergleich das "napoleonische Standard Modell" von 1800, das im wesentlichen aus der mathematisch komplexen Anschreibung von acht solipsistischen Fluida besteht und ließ dem das "viktorianische" folgen, das auf dem mechanistischen Äther-Vortex-Reduktionismus der Physik von Helmholtz, Thomson und Maxwell beruht.

Heilbron hat damit für drei Jahrhundertwenden Standard Modelle der Physik – "napoleonisch", "viktorianisch" und "atlantisch" – entworfen, die in sich epistemologisch konsistent und strukturell vergleichbar sind. Dieses Vorgehen ist ebenso listig wie legitim, wenn denn der aktuelle Stand der Wissenschaft selbst sich in der Konstruktion eines Standard Modells soll hinreichend reflektieren können. Die List des Arguments aber steckt in der Frage der historischen Symmetrie solcher Modelle. Heilbron entlockt seinem Vergleich denn auch sofort

²⁸ Peirce, Chance:1923, 162.

²⁹ Wie sie die "Superstring"-Theorien seither zu erreichen versuchen. Vgl. Bando, Standard:1996; Polchinski, Superstring:1998.

³⁰ Schweber, Perspective:1997, 673.

³¹ Vgl. Heilbron, Electricity:1979.

eine gewisse Ironie, insofern im aktuell-„atlantischen“ Standard Modell ein Symmetriebruch in der behaupteten Evolution der universellen Partikel, und damit der immanente Einfluß einer 'evolutionären Logik der Materie' eine konstruktiv fundamentale Rolle spielt. Als Wissenschaftshistoriker aber wendet er die Frage der Symmetrie und ihres Bruchs auf die Symmetrie der Modelle und ihrer Brüche im Historischen zurück.

Der erste Bruch beispielsweise widerfuhr dem napoleonischen Standard Modell um 1800 schon sehr schnell:

The conception of heat as a conserved fluid (i.e. 'calorique', W.H.) could not be reconciled with Carnot's analysis of the workings of an ideal engine and Joule's measurement of the behaviour of real ones.³²

Wir müssen hier nicht auf die Einzelheiten eingehen: Es waren jeweils unwiderlegliche Experimente und die zugehörigen Fortschritte in der Mathematik, die den Stand der 1800er und 1900er Standard Modelle erschüttert und ihre inneren Symmetrien am Ende zerrüttet haben. So war beispielsweise schon die Entdeckung des Elektrons (1897) und des Nukleus (1910/11) nicht mehr in die Vortex-Logik der Viktorianer einzubinden, wie vordem schon das Fluidal-Modell der napoleonischen Physik jenes romantische Oerstedt-Experiment der Ablenkung einer Magnetnadel durch die fließende Ladung (1820) nicht mehr erklären konnte.

Zugleich kennzeichnen Standard Modelle der Physik eine spezifische Art von Ähnlichkeit, auf die Heilbron, im Blick auf das aktuelle Standard Modell, in einer für ihn ungewohnten Schärfe aufmerksam macht:

Napoleon fancied, perhaps rightly, that his soul was an imponderable fluid, and the materialists of the nineteenth century seized on mechanistic reduction to prove that no one had a soul. This similarity seems to extend to the current Standard Model and its fellow traveller, the Big Bang, which have prompted declarations from physicists that sound theological. In his Nobel prize lecture, one of the chief architects on the Standard Model, Abdus Salam, acknowledged his privilege in being chosen to reveal the portion of God's plan that related to weak interactions; a professor of theoretical physics at Oxford, John Polkinghorne, quit his post to become pastor of theological physics for the Anglican church; and the contributors to *Physics, Philosophy, and Theology*, a volume published a few years ago by the Vatican, show, among much else, how to square the Big Bang with St. Augustine and *creatio ex nihilo*.³³

Soweit kann es kommen. Der Vatikan, der am Beginn der Wissenschaft Physik deren – noch ohnmächtiges – Modell einer vernunft- und experimentell gestützten Mathematisierung der Natur als Angriff identifiziert und mit dem Tode Giordano Brunos und der Inhaftierung Galileis quittiert³⁴, kommt zu neuen Ehren. So als habe sich die modernste Physik vor dem ältesten Machtmodell am Ende doch gebeugt. Heilbron, eingeladen zum "Third International Symposium on the History of Particle Physics" in Stanford 1992, hat demnach Grund genug, einen kritischen Blick in die Runde der Standard-Modell-Anhänger zu werfen:

And how is it with you? Do you regard the Standard Model as the foundation - or as an ingredient - of a theory of everything? Or as a hodgepodge of mathematics and phenomenology requiring the insertion of ad hoc constants that will almost certainly never be deducible from first principles? If this scepticism represents the dominant view, the parallel holds; if not, if physicists truly believe that they have found the truth or some of it, we have a broken symmetry of great interest to historians.³⁵

³² Heilbron, Standard:1997, 52.

³³ 52f.

³⁴ vgl. Fölsing, Galilei:1983, 270ff.

³⁵ Heilbron, Standard:1997, 53.

Historisch nämlich wäre dieses, das aktuelle Standard Modell der Teilchenphysik, nicht nur das erste, das eine physikalische Theorie der Evolution implizierte, sondern zugleich eines mit tiefen teleologischen Zügen. Die Entwicklung der Wissenschaft Physik wäre gleichsam epistemologisch zu einem Ende gebracht, wenn, auf der Ebene der Hochenergiephysik, nur noch solche Experimente ins Feld gingen, die vom Standard Modell veranlasst wären, hochenergetisch genug und weit ab aller irdisch 'normalen' Energiebedingungen, so daß wohl kaum noch experimentell Ergebnisse nachzuweisen wären, die das Modell aus der Spur brächten, weil es zu ihrem Nachweis an geeigneten Sensoren fehlte, die ihrerseits immer am Standard Modell geeicht wären. Hier liegt der historische Kern der Befürchtung Peter Mittelstaedts in Bezug auf die Rolle der modernen Beobachtungsmedien der Teilchen-Physik.

Nicht nur wäre, wenn Heilbrons Befürchtung Recht behielte, eine Retheologisierung der Physik nahegelegt, die sozusagen in beständig säkularisierten Gottesbeweisen von der Art statistischer und mathematischer Renormalisierungen sich erginge. Vor allem wäre eine Wissenschaftsgeschichte am Ende, indem sie ihr Telos an der Weltallwerdung gefunden hätte. Und so findet Heilbron auch das Utopiens seiner eigenen Wissenschaftsdisziplin, der "history of science", heraus ("of great interest for historians"), nämlich das Modell einer Wissenschaft, das seine eigene Dekonstruktion ausschließt (insofern es gleichsam die äußeren Brüche von Symmetrie nach innen nimmt und aufhebt). Ein solches Modell wäre dann eines von absoluter Macht, ein symbolisches Modell, das zugleich das Modell des Symbolischen selbst repräsentiert. Wie sehr in der Wissenschaft Physik Symbolismen dieser Art von Beginn an schlummern, wird insofern spätestens durch den vorläufigen terminus ad quem ihrer Entwicklung angezeigt. "We are paying the price of our own success", sagt einer der wichtigsten Baumeister des aktuellen Standard Modells, Steven Weinberg, Mitautor jener "elektroweak theory", die die schwache Kernkraft und die elektrische Kraft vereinheitlicht.

The Standard Model has done so well that we cannot easily see how to go beyond it.³⁶

Mathematik der Strings, Groß-Experimente.

Peter Galison, der sein bisheriges Wissenschaftshistorikerleben zum überwiegenden Teil der Großforschungsgeschichte der Mikrophysik dieses Jahrhunderts verschrieben hat, teilt die Skepsis Heilbrons von einer ganz anderen Warte her. In der jüngeren Geschichte des physikalischen Forschungsprozesses registriert Galison einen inneren Aufspaltungs- und Dekonstruktionsprozess, vor dem das Standard Modell in einem ganz anderen Licht erscheint. So nämlich, als formuliere sich in diesem übergreifenden Modell gleichsam nur das Dach über eine lose Koppelung von überraschenderweise relativ getrennten Forschungs-Diskursen und den ihr zugehörnden Forschungs-"communities". Auf den fast tausend Seiten seines Hauptwerks "Image and Logic. A Material Culture of Microphysics", das u.a. auch die wichtigsten Phasen der Experimentalgeschichte des Standard Modells erörtert,³⁷ erfahren wir:

Science is disunified, and – against our first intuitions – it is precisely the disunification of science that brings strength and stability³⁸.

Galison verschweigt seinen wissenschaftstheoretischen Anschluß an neuere amerikanische Pragmatismus-Theorien (die ihrerseits auf Peirce zurückgehen) keineswegs. Er bezieht sich auf Donald Davidson und Hilary Putnam, um in der konstruktivistischen Tiefe eines "internen

³⁶ Weinberg, Attitudes:1997, 4.

³⁷ Galison, Image:1997, 672ff.

³⁸ 781.

Realismus"³⁹ zu zeigen, daß es die "disorder of scientific community" und "the disunification of science" ist, die in den zersplitterten Teilbereiche von Forschung und Theorie – "incompletely overlapping the other"⁴⁰ – eine umso konsistentere Strenge und Kohärenz des Forschungsprozesses erzeugt. Nach dem Peirceschen Bild der sich zum Seil überlappenden dünnen Fäden ziehen die nur locker gekoppelten Teilbereiche Theorie, Experimentation und Instrumentation den wissenschaftlichen Fortschritt wie in einem Strang vorwärts, im Sinne eines sich selbst tragenden Prozesses, der eben gerade nicht 'extern' geführt, geleitet oder angestoßen ist, sondern 'intern', durch sich selbst und seine innere Komplexität prozediert.

Galisons Diagnose bleibt auch jenseits seiner eigenen philosophischen Grundierung material eindeutig und ist für die historische Forschung der Physik lehrreich. Am Ende des zwanzigsten Jahrhunderts ist offensichtlich, dass zumindest die Mikrophysik der Teilchen, in Bezug auf ihren Status als Wissenschaft, in "the subcultures of instrumentation, experiment and theory" zerfallen ist. Austausch findet nur über eine spezifische Art des "Handels" statt, der wie der 'potlatch' archaischer Ethnien zu funktionieren scheint.

Like two cultures distinct but living near enough to trade, they can share some activities while diverging on many others. What is crucial is that in the local context of the trading zone, *despite* the differences in classification, significance, and standards of demonstration, the two groups can collaborate. They can come to a consensus about the procedure of exchange, about the mechanisms to determine when goods are 'equal' to one another. They can even both understand that the continuation of exchange is a prerequisite to the survival of the larger culture of which they are part.⁴¹

Gemessen am landläufigen Bild von Naturwissenschaft, das von der Leitwissenschaft Physik eine in sich gesicherte Einheit von Theorie und Experiment erwarten ließe; gemäß der Mittelstaedtschen Physik-Definition von der "Theorie beobachtbarer Größen, die die Natur beschreibt, wie sie sich zeigt, wenn man sie mit realen Meßgeräten untersucht", – ist das Bild, das Galison von der Physik zeichnet, zutiefst chaotisch, ungeordnet, zerklüftet, desorganisiert. Nichts scheint hier einem einheitlichen Leitbild, Schema oder Paradigma, zu folgen, Galisons Physikbild zerfällt vielmehr in drei nahezu gegeneinander abgeschottete, austauschschwache, divergente Praktiken und Verfahren verfolgende "subcultures", "groupings of experiment, theory and instrumentation"⁴².

Instrumentatoren

Die Ausdifferenzierung von drei Schichtungen des längst paraindustriell operierenden Forschungsprozesses der Elementarteilchenphysik sind Ergebnis dieses Forschungsprozesses selbst. Auch das ist historisch gut belegbar, zumal in der Entwicklung der gigantischen Großforschungsanlagen der Teilchenphysik. Ein gutes Dutzend (noch) existierender Beschleuniger und Kollider auf der Welt verschlingen jeweils Invest- und Betriebsmittel-Etats von Jahresumsatzhöhen mittlerer Industrieunternehmen. Sie werden designed und gemanagt von "Instrumentatoren" im Sinne der dritten ‚Schicht‘ Galisons. Solche "Instrumentatoren" der Phy-

³⁹ vgl. Hedrich, Effizienz:1993, 121ff.

⁴⁰ Galison, Image:1997, 844.

⁴¹ 803.

⁴² Galison, Image:1997, 797.

sik gab es von Anfang an, von Gilberts⁴³ "Instrumentenmacher" Robert Norman über Hooke⁴⁴, Hauksbee⁴⁵, Cuthbertson⁴⁶, Wheatstone⁴⁷, Watson⁴⁸ bis hin zu Wilson⁴⁹ und seiner Entwicklung der Nebelkammer, mit der Galisons Analyse beginnt. Galison zeigt, daß aus dieser Kultur der manufakturrellen Instrumentation am Ende des zwanzigsten Jahrhunderts eine Industrie geworden ist. Heute, da keine National-Regierung der Welt mehr allein in der Lage ist, die Mittel für diese gigantischen Hochtechnologiemonster aufzubringen, ist eine mögliche Konzentration auf "einen einzigen riesigen Beschleuniger" für die ganze Weltphysik längst nicht mehr nur eine fixe Idee, sondern, zumindest auf euro- und euro-amerikanischer Ebene, das Ziel.⁵⁰ Auch hierzu ist die weltweit einheitliche Akzeptanz eines Standard Models hilfreich, wenn nicht gar zwingende Voraussetzung. Jedenfalls sind auch heute schon Bau, Ausbau und Logistik komplexer Anlagen wie des LEP (im Genfer CERN) oder des SLAC in den USA Tätigkeitsfelder einer hochspezialisierten Gruppierung von Physikern und Ingenieuren, von denen die Festkörperphysiker (die z.B. die besten Ideen für bessere Detektorensysteme haben) und Teilchenphysiker (die die Anlagen für Experimentalserien vorbereiten) nur einen Teil repräsentieren.

Experimentatoren

Bei der Durchführung von Experimenten in diesen gigantischen Labors sind hunderte von Physikern involviert, "Beschleunigerexperimente [laufen] oft über Monate, und Jahre"⁵¹. Die Zeiten, da ein einzelner Experimentator ein lückenloses Bild von seiner Beobachtung hatte, erweisen sich vom heutigen Stand aus als ein romantisches Ideal.

When a collaboration of two, three or five hundred physicists undertake a five- to ten-year \$500 million inquiry in particle physics, it is not a 17th-century air pump or 19th-century Hertzian coil writ large: the founding epistemic principles of experiment have altered.⁵²

Vor allem aber ist die Rolle des experimentierenden "Betrachters" fraglich geworden, die noch für die Experimentalgeschichte des 19. Jahrhunderts, aber auch für die "Deterritorialisierung des Sehens"⁵³ in der Ausbildung der Moderne insgesamt eine fundamentale und nachhaltige Rolle gespielt hat. In gewisser Weise schwingt sie auch noch in Mittelstaedts Vorstellung der "realen Uhren und Meßgeräte" mit, vor denen gleichsam ein idealisierter, einzelner Beobachter die Ergebnisse beobachtet. Den aber gibt es nicht mehr. Die Rolle und Funktion des

⁴³ William Gilbert, der erste Theoretiker der Elektrizität 1600.

⁴⁴ Robert Hooke, bestallter "Experimentalist" der Royal Society in der Zeit Newtons.

⁴⁵ Francis Hauksbee, Nachfolger Hookes.

⁴⁶ Die Brüder John and Jonathan Cuthbertson waren Instrumentenbauer (u.a. aufwendige Elektrisiermaschinen) im achtzehnten Jahrhundert.

⁴⁷ Charles Wheatstone, Physiker und Instrumentenbauer im frühen neunzehnten Jahrhundert, u.a. Initiator der englischen Telegrafie.

⁴⁸ Thomas A. Watson, der Assistent und Instrumentenbauer Alexander Graham Bells.

⁴⁹ Charles Thomas Rees Wilson entwickelte um 1910 das erste auf Gasdiffusion basierende Nachweis-Instrument für subatomare Teilchen.

⁵⁰ vgl. Glashow in Davies, *Superstrings*:1988, 218; auch FAZ, 17.12.1997 / Nr. 293 / Seite N1

⁵¹ Grotelüschen, *Klang*:1999, 46.

⁵² Galison, *Theory*:1995, 402.

⁵³ Crary, *Techniken*:1990, 152.

Beobachters hat dramatisch gewechselt und der Wechsel in den epistemischen Prinzipien des Experiments geht tief. Den "research objects" des Experiments, dem "epistemischen Ding" – wie H.J. Rheinberger in Anschluß an Bruno Latour sagt⁵⁴ –, das als zunächst undefinierter Gegenstand der Beobachtung im Rekursionsprozess experimenteller Redefinierung hypostasiert werden mag, entsprechen in den Großforschungsdetektorsystemen tatsächlich immer schon datentechnisch reproduzierte und damit reduzierte Ergebnisse.

Experimental devices become information machines, and the boundary between computation and experimentation blurred.⁵⁵

In der Teilchenphysik, die nach den Grundlagen der Materie forscht, gibt es keinen "gentlemanly" Beobachtenden mehr. Für Experimente in diesen Dimensionen ist eine auf programmierte Computer gegründete Zeugenschaft die einzige Wahl. Auch die Reproduzierbarkeit im Sinne der einfachen, uneingeschränkten Wiederholung eines Experiments ist kaum möglich. Es gibt keine Chance mehr auf direkte Repetition des gleichen Experiments, wenn ein Experiment mehr kostet als der Gesamtjahresetat der zugehörigen Universität und die Dauer seiner Auswertung in zwei- bis dreistelligen Mannjahren zu rechnen ist und schon insofern die Lebenszeit *eines* Physikers um ein vielfaches übersteigt.

There is not even a very well-defined notion of an experimental author when no single individual can conceivably be fundamentally involved with all sectors of experimental construction, data taking, data analysis or interpretation. Even when the results are in, comparing data in a colliding beam experiment often must pass through triggers, filters, and phenomenological analysis before it faces the basic equations of quantum chromodynamics. Monte Carlo simulations, which stand at the threshold between experiment and theory, again challenge any fixed notion of what counts as an experiment. What would Maxwell have called a young particle physicist, who qualified professionally by doing a simulation of a drift chamber deep within a projected colliding beam detector? An experimentalist? A theorist? These categorical boundaries have shifted.⁵⁶

Theoretiker

Schließlich die Theoretiker, – ihre Rolle in der stratifizierten Physik-community ist von Isolation und Abschottung besonderer Art gekennzeichnet. Das betrifft derzeit vor allem den beträchtlichen Teil der theoretischen Physiker, die die Schwächen des Standard Modells durch die "Große Vereinheitlichte Theorie" der 'Superstrings' überwinden wollen.

The Superstring theorists had a final theory that had little traffic with experiment beyond the existence of gravity and the handedness of certain particles. It is the combination of ambition and detachment that would have been so unimaginable in almost any other time in the nineteenth or twentieth century... For what the late twentieth-century is witnessing in the string controversy is a profound and contested shift in the position of theory in physics.⁵⁷

Der Historiker des aktuellen Standard Modells hat der Theorie der Physik freilich die schwierigste Rolle zu attestieren:

Es gibt ungefähr 24 oder mehr mysteriöse Zahlenwerte, die im Zusammenhang mit den Massen der beobachteten Teilchen stehen.⁵⁸ –

⁵⁴ Rheinberger, History:1997, 28f.

⁵⁵ Galison, Image:1997, 807.

⁵⁶ Galison, Theory:1995, 402f.

⁵⁷ 372.

⁵⁸ Feynman Mitte der 80er in: Davies, Superstrings:1988, 229.

Why do the particles masses have the value they do? ... Why ... were there so many ('embarrassingly many', Steven Weinberg) free parameters in the theory...? ... After a decade of furious work on theses and other intratheoretical lacunae, the list of proposed solutions had grown even longer.⁵⁹

Damit ist die Frage der Konsistenz derjenigen mathematischen Theorien gestellt, die zur Eindämmung der allzu vielen 'freien' Parameter im Standard Modell erhalten müssen. Das Verfahren selbst hat eine lange Tradition. Ein Blick in Maxwells "Treatise On Electricity and Magnetism" (1873) lehrt, daß ohne die kühne mathematische Entwicklung und physikalische Redefinierung der für seine Zeitgenossen nahezu unbekannten Hamiltonschen Quaternionentheorie das berühmte Konzept des "displacement current" nicht hätte formuliert werden können. Über einige Jahrzehnte galt diesen Konzept als ‚reine Mathematik‘. Anders aber wäre die – immer noch gültige – Theorie der Elektrizität Maxwells nicht zustande gekommen. Hamiltons Quaternionentheorie war ursächlich nicht einmal eine physikalische Theorie.

Die Superstring-Theorien zeigen eine in hohem Maße reiche mathematische Struktur, in der Elemente aus Geometrie, Topologie, Analysis, Zahlentheorie, Kombinatorik und Gruppentheorie auf neuartige Weise zueinander in Beziehung gesetzt werden, die sie sogar für reine Mathematiker interessant werden lassen.⁶⁰

Die Zeit ist offenbar reif für eine lange Phase einer 'ungebundenen' Mathematik.

Superstrings

Die "String"-Theorie, auch wegen einiger übergreifender ('Super-') Symmetriepostulate, die sie integriert, "Superstring"-Theorie genannt, stützt sich auf Grundannahmen, die, soweit bisher erkennbar, einer experimentellen Überprüfbarkeit entzogen bleiben werden. In ihrer physikalischen Einfachheit sind die Grundannahmen der Theorie allerdings bestechend. Die Stringtheorie setzt sich beispielsweise ab von der jahrhundertealten physikalischen Vorstellung der Punkt-Dimension der "letzten" Teilchen. Sie ersetzt die Punktdimension durch die Annahme winzige Bänder ("strings"), deren Schwingungszustände und Dimensionalität die bekannten Eigenschaften der Teilchenfamilien im Standard Modell mathematisch konsistenter repräsentieren können. Damit löst sie sich mit einem Schlag von allen lästigen "Unendlichkeiten", die unter der Annahme von 'Punktteilchen' die herkömmliche Theorie des Standard Modells mathematisch seit Jahrzehnten belasten. Die Behandlung dimensionsloser punktförmiger Teilchen zwang die Theoretiker der Quantenteilchen-Physik in ihren Gleichungen immer wieder zu "Renormierungen" von unendlichen Werten, von denen selbst Feynman, der diese Mathematik mit inauguriert hat, nicht sicher sagen konnte, "ob diese reorganisierte Form der Theorie mathematisch widerspruchsfrei ist."⁶¹

Der Konsistenzgewinn, die mathematische Eleganz der Abkehr von Punktdimensionen, ihre Integration mathematisch höchst produktiver Teilgebiete, sind nur einige der unbestreitbar guten Argumente für den Ansatz einer 'rein' mathematischen Stringtheorie.

A closed string, for example, would trace the surface of a distorted cylinder in spacetime; the coming together in spacetime of two such objects would construct a surface something like that of a pair of pants. These and related geometrical objects open onto vast areas of modern mathematics - Riemann surfaces, algebraic topology, and even number theory.⁶²

⁵⁹ Galison, Theory:1995, 370.

⁶⁰ Münster, Aspekte:1990, 93.

⁶¹ Feynman in Davies, Superstrings:1988, 233.

⁶² Galison, Theory:1995, 374.

In diesen Theorien aber, deren Ableitungen "eingerollte" Dimensionseigenschaften der behaupteten Objekte unterstellen, geht Konsistenz und mathematische Stringenz auf Kosten jeglicher instrumenteller und damit experimenteller Kapazitäten der Physik. "Superstrings", wenn ihnen denn überhaupt so etwas wie eine physikalische 'Realität' zukäme, wären Objekte einer Planckschen Größenskala, die sich aus der Kombination der fundamentalen Konstanten der Relativität, der Quantenmechanik und der Gravitation ergibt. Die Länge eines solchen Strings wäre: $L_p = (\hbar G/c^2)^{1/2} = 10^{-33}$ cm.⁶³ Für "Dinge" dieser Größenordnung, die noch 10^{22} mal kleiner sein sollen als ein Proton (ein Größenverhältnis von Weltall $\sim$ Atom), existieren keine Energien und kein Mittel, sie nachzuweisen. Um Energien von einer Mächtigkeit zu erzeugen, die Größenverhältnisse der beschriebenen Art erreichte, bräuchte es Teilchenbeschleuniger von der Länge von hunderten von Lichtjahren. Weinberg gibt denn auch zu:

Es handelt sich um eine Theorie, deren wesentlicher Inhalt einen Bereich betrifft, der der direkten Beobachtung nicht zugänglich ist, weswegen wir uns nicht von unserer physischen Intuition leiten lassen können, denn wir verfügen hinsichtlich dieses Bereichs über keinerlei Intuition. Die Theorie muß daher durch die Forderung nach mathematischer Konsistenz festgelegt werden, und wir können nur hoffen, daß sie zu Lösungen führen wird, die der realen Welt bei den uns erreichbaren Energien ähnlich sieht. Leider ist es so, daß physikalische Vorstellungen, wie man sie üblicherweise aus experimentellen Ergebnissen ableiten kann, in diesem Fall keine große Hilfestellung geben können.⁶⁴

Keiner physikalischen Intuition mehr, sondern allein der Konsistenz und Widerspruchsfreiheit einer mathematischen Theorie zu folgen; auf wenige "einfache" Grundannahmen sich stützen, um eineindeutig-stringente Ableitungen von "Modi" zu generieren, deren Gleichungen dann konsistent erklären, was – auf einem 10^{22} 'tieferen' Energieniveau – in Teilen des Standard Modells (also in der 'sichtbaren', messbaren Welt von Beschleunigern) beschrieben wird; und damit die derzeitigen phänomenologischen Freiheitsgrade des Standard Modells zu ersetzen durch die mathematische Klarheit und Eleganz einer "Grand Unified Theory": Das ist das strategische Ziel der "theoretical subculture", die Galison in der neuesten Physik als (neben Experimentatoren und Instrumentatoren) autonome Gruppierung ausmacht. Sie propagiert das alte "metatheoretische" Ziel der "Einheit der Physik", das darin besteht, "nach einheitlichen Formprinzipien zu suchen"⁶⁵. Aber diesem Ziel folgend, vollzieht sie zugleich einen fundamentalen Bruch mit der Tradition.

The historical connection between experimental physics and theory has been lost.

sagt der Superstring-Kritiker Sheldon Glashow.

However elegant it would have been that planets move in circles, they simply don't. The revolution of special relativity emerged from observation and not from the power of positive thinking. Without the careful experimental work that led Maxwell to his equations, no philosopher could have discovered the real nature of space and time. Quantum mechanics, too, crept out of an experimental morass which was irreconcilable with classical theory. It was not a strict mathematical creation.⁶⁶

So aktualisiert das Programm der "Superstringtheorie", auf dem Schauplatz der Teilchenphysik, wenigstens zwei ebenso alte wie ungelöste Fragen. Nämlich erstens die Frage nach der Möglichkeit eines konsistent axiomatisierten mathematischen Kalküls, das zweitens zudem

⁶³ 376.

⁶⁴ Weinberg-Gespräch in Davies, Superstrings:1988, 258.

⁶⁵ Münster, Aspekte:1990, 97.

⁶⁶ Glashow nach Galison, Theory:1995, 399.

als Bildnerin des Kosmos gleichsam hinter der sichtbaren Bühne der Natur die „Fäden“ („strings“) ziehen soll.⁶⁷ Verhielte es sich so und wäre die Definition eines solchen Kalküls möglich, so würde die Superstring-Theorie nicht nur das Erbe der Axiomatisierungsfrage der Mathematik antreten sondern zudem mit einer physikalischen Theorie (von mathematischer Stringenz) die Tür schließen, die durch die Hilbertschen Probleme von 1900 aufgestoßen wurde.⁶⁸ Dagegen wirkt Heisenbergs expliziter philosophische Platonismus wie eine vornehme Zurückhaltung zugunsten eines Theoriemodells der Physik, das sich in die formalistischen Untiefen mathematischer Spekulation gar nicht erst begeben wollte, in welche die theoretische Physik der Jahrhundertwende 2000 nun doch geraten ist. Seit über dreißig Jahren sind die Superstring-Theoretiker indessen kaum von der Stelle gekommen, und es gilt allgemein die Erwartung, dass ihr Programm vermutlich noch einige Jahrzehnte der mathematischen Arbeit bedarf. Gelänge es, allein qua innermathematischer Konsistenz eine erfolgreiche Remedur existierender Theorien des Standard Modells zu erwirken, so wäre umgekehrt die Frage, was mathematische Konsistenz und Widerspruchsfreiheit 'heißt', gleich mit aufgeklärt. Ein altes Descartes'sches Programm wäre doppelt in Erfüllung gegangen: "Apud me omnia fiunt mathematice in natura".⁶⁹

Aber es bleibt fraglich, und das sozusagen auf allen Niveaus der Diskussion, ob eine konsistente Unifizierung von Mathematik und Physik in der Superstringtheorie außermathematisch überhaupt interpretierbar wäre. Programm und epistemologischer Status der Superstring-Theorie sind gleichermaßen irritierend. Ihre "distance from the laboratory has raised deep questions about the very nature of physics as a discipline".⁷⁰ Das ist allerdings die Folge, wenn eine Theorie der Physik in ihren physikalischen Voraussetzungen, die sie doch selbst in ihrem epistemologischen Stand sichern will, nicht mehr greifbar ist. Zwar mag man die Nähe erkennen, die die Superstring-Theorie zu früheren 'Symmetriebruch'- und Strukturentstehungskonzepten in der Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaft aufweisen, so etwa zu den Spekulationen Prigogines und seiner "Ungleichgewichtsthermodynamik".⁷¹ Aber wie diesen fehlt ihr jede Art der experimentellen oder empirischen Überprüfbarkeit. So lässt denn auch die physikalische Debatte um die Superstring-Theorie derzeit nichts an Heftigkeit und Schärfe vermissen.

Sehen Sie in den Versuchen, die ganze Natur auf eine solche sehr abstrakte Weise zu vereinigen, eine Bedrohung der Zukunft der Physik, weil dadurch die Motivation für Experimente untergraben wird?

wird Sheldon Glashow gefragt. Und er antwortet in Richtung auf seinen Nobelpreiskollegen Weinberg, ohne ihn zu nennen:

Ja, in der gleichen Weise, in der die Theologie im Mittelalter meiner Ansicht nach die europäische Wissenschaft zerstört hat. Schließlich waren die Menschen in Europa die einzigen, welche die große Supernova von 1054 nicht bemerkten, weil sie zu sehr in die Diskussion darüber vertieft waren, wie viele Engel auf einer Nadelspitze tanzen können.⁷²

⁶⁷ vgl. Hilberts Versuche der Axiomatisierung der Physik. Hierzu Corry, Hilbert:1997.

⁶⁸ vgl. Mehrtens, Moderne:1990, 108ff.

⁶⁹ Brief an Mersenne, in: Descartes, Prinzipien:1644, III.

⁷⁰ Galison, Theorie:1995, 403.

⁷¹ Kanitscheider, Wissenschaftstheorie:1981, 222ff.

⁷² Glashow in Davies, Superstrings:1988, 215.

Von diesen fundamental unlösbaren Schismen zwischen Theorie und Realität, zwischen Mathematik und Physik, zwischen Platonikern, Formalisten und Intuitionisten⁷³ etc., die allesamt durch das Programm der Superstringtheoretiker wieder aktualisiert werden, versucht sich der Teilchenphysik-Historiker Galison freizuhalten. Beim gegenwärtigen Stand der Physik – und nur darauf kann sich eine epistemologisch reflektierende Historik der Physik beziehen – lässt sich Galison zufolge prinzipiell nicht entscheiden, ob eine Theorie, deren phänomenologische Voraussetzungen ("strings") definitiv nicht-empirisch gesetzt sind, auf der Ebene mathematisch konsistenter Ableitungen dieser Theorie physikalisch relevante, heißt experimentell überprüfbare Aussagen wird machen können oder nicht. Eine ganz andere Frage ist, ob diese Theorie immer noch den Anspruch erheben kann (ja, ob sie ihn überhaupt erheben will), *die* Theorie der Physik zu sein.

Zwar gilt für alle Teile des naturwissenschaftlichen Diskurses auch heute unvermindert, dass keine Theorie als gültig bezeichnet werden kann, deren Voraussagen und Sätze nicht durch Experimente "mit realen Uhren und Messgeräten" reproduziert werden können. Aber das heißt nicht, dass eine solche Theorie tatsächlich den phänomenologischen Rahmen 'der Natur', 'der Materie' oder 'des Universums' abstecken muss. Sie kann sich, wie auch Heisenberg einzuräumen hatte, als "Idealisierung für begrenzte Erfahrungsbereiche"⁷⁴, phänomenal auf Ausschnitte von Realität beschränken, und dabei alle möglichen, auch phänomenologischen Annahmen machen, die zwar mathematisch notwendig erscheinen, aber physikalisch irrelevant sind. Eine physikalisch konsistente Theorie kann bar jeder Art ontologischen Festlegung operieren, wie beispielsweise Heisenbergs berühmte Matrizenmechanik von 1925, die zur Formulierung der Unschärferelation führte, "lediglich eine operationalistische Umsetzung physikalisch beobachtbarer Größen"⁷⁵ lieferte. Das aktuelle Standardmodell zeigt, wie sehr sich dieser 'lokale' Operationalismus physikalischer Theorien im Ausbau der hochdifferenzierten Quantenfeldtheorie der Teilchen verstärkt.

Zur Frage steht nicht das *Dass*, sondern das epistemologische *Wie* einer naturwissenschaftlichen Rationalität. Es zeigt sich, dass das "Rationalitätskontinuum"⁷⁶ der Physik, also ein genereller Anspruch, eine "Aussage über die objektive Welt" zu sein, in keiner Weise mehr leitende oder zwingende Voraussetzung für eine moderne physikalische Theorie ist. Das ist es, was auch den letzten großen Platoniker der Physik, Werner Heisenberg, bei Gelegenheit "geneigt" zeigte zuzugeben, die Physik sei "ein Teil des Wechselspiels zwischen der Welt und uns selbst, also auch ein Teil der Sprache, in der wir über die Welt reden"⁷⁷ und mehr nicht. In diese epistemologische Lücken der Geltung neuester physikalischer Theorien zieht sich Galison, unterstützt durch das pragmatistische Putnam-Konzept eines "internen Realismus", zurück. Wenn physikalische Theorien "Teil des Wechselspiels" sind, das Physiker kommunikativ "mit sich selbst" führen, dann bleiben für "Große Vereinheitlichte Theorien" nur zwei Geltungsbedingungen übrig. Erstens ihr gegebenenfalls operationalistischer Wert und zweitens nichts als die Frage, welche Rolle sie im Wechselspiel der Wissenschaft einnehmen. Theorien, so laut ihr Anspruch auch deklariert sein mag, "Groß" und "Vereinheitlicht" zu sein, können als The-

⁷³ Vgl. Penrose, Computerdenken:1989, 102ff.

⁷⁴ Heisenberg, Abschluß:1971, 389.

⁷⁵ Hedrich, Effizienz:1993, 111.

⁷⁶ Luhmann, Beobachtungen:1992, 53.

⁷⁷ Heisenberg, Harmonie:1967, 392.

orien allein den Status der Wissenschaft nicht länger bestimmen. Diese Überlegung bekräftigt Galison im Blick auf die Lage der Dinge im Standard Modell der Physik, die von einer Auseinander-Drift bestimmt ist, deren Struktur die einzelnen Glieder des Modells gleichsam nur als Symptom reflektieren.

Interkalation⁷⁸

Aus der Analyse der Großforschungsprozesse der letzten vier Jahrzehnte ergibt sich für Galison, dass die drei separierten Gruppierungen des Standard Modells der Physik: Instrumentation, Experimentation und Theorie, nicht meta-strukturiert ineinandergreifen, sondern nur vergleichsweise schwach und strikt lokal interagieren. Galison zeigt, dass sie in ihrem jeweiligen weitgehend getrennten Prozedieren innerhalb eines gemeinsamen Kontextes nicht von globalen, theoretisch reflektierten 'Gemeinsamkeiten' gelenkt werden, sondern mittels der Interkalation autochtoner lokaler Interaktionsstrukturen, die Galison als "trading zones" beschreibt und mittels interethnischer Theoreme zu behandeln vorschlägt. Temporäre "Pidginisierungen" und "Kreolisierungen" finden statt, d.h. eine Ausbildung von Zwischensprachen, die – vor allem im Mathematischen – den Austausch lokal, ad hoc und 'irgendwie' sichern. Hinter dieser Beobachtung steckt im Kern eine implizite Mehrweltentheorie von Wissenschaft,⁷⁹ ohne dass die Akteure dieser Theorie aber deren epistemologischen 'impact' geltend machen würden.

Beispielsweise können Instrumentatoren in der Theorie der Logistik ihrer gigantischen Gerätschaften und paraindustriellen Großforschungseinrichtungen von physikalischen Theoriemodellen ausgehen, die völlig separat von dem fungieren, was Experimentatoren für die Bewältigung der Sammlung und Auswertung ihrer mannjahrelangen Detektorenanalysen nötig haben. Zielführend genügt die Entstehung einer Art von zwischensprachlicher Korrelation, eingeschlossen alle Überlagerungen von Theorien und physikalischen Phänomenologien, deren Voraussetzungen und Horizonte völlig different sein mögen. Dieser Ausfall an übergreifender phänomenologischer und mathematischer Rationalität - das ist die zentrale Beobachtung Galisons - hindert den Forschungsprozess weder in der Theorie noch in der Experimentation. Durch die Interkalation dieser dunklen Zonen der Unklarheit und des halben Verstehens läuft der Forschungsprozess eher besser. Die Theoretiker operieren mit Modellen und Erklärungsansätzen, die wiederum mit den Vorstellungswelten der beiden anderen Gruppierungen nichts zu tun haben müssen, um dennoch äußerst fruchtbar zu sein.

Science is disunified, and – against our first intuitions – it is precisely the disunification of science that brings strength and stability.

Es ist gleichsam so, als reproduziere sich im Diskurs der Forschungsorganisation der Teilchenphysik noch einmal, was das Standard Modell der Teilchenphysik zur Grundlage hat: die Wechselwirkung im Lokalen und Sub-Lokalen auf Basis einer Unzahl freier Parameter, die keine Meta-Theorie bislang erklären kann.

Galison konstatiert die paradoxe Stabilität einer immer auch vom Zerfall bedrohten Ordnung der Physik in die drei separaten Glieder: Theorie, Experimentation und Instrumentation. Darin situiert sich notabene auch der Einsatz von Wissenschaftsgeschichte neu. Wissenschaftsgeschichte wird zu einer Art operativ historisierender Forschungssoziologie, ein "operation research" auf dem Felde einer permanent historisierenden Wissenschaftspraxis.

⁷⁸ Zu deutsch: „Einschiebung, Einschaltung“ – Galisons Begriff, um den Grenzraum, den Übergangsraum zwischen den in sich geschlossenen Feldern der Teilchenphysik (Theorie, Experimentation, Instrumentation) zu bezeichnen.

⁷⁹ vgl. Goodman, Welterzeugung:1978; dazu Putnam, Standpunkt:1993, 254f.

One among the many interesting features of the debate is the near-universal invocation of history by all participants.⁸⁰

Geschichte spielt damit in der strukturell verworrenen Lage am Frontend der Physik die Instanz einer Anrufung. Offenbar ist es dieser Ruf, auf den ein historischer Theoretiker wie Galison, der sich selbst als "Anti-Antirealist" versteht, in der amerikanischen "history of science" gegenüber seinem Gegenstandsfeld, der Mikrophysik, produktiv zu antworten sucht. So, als könne sein Einsatz von ebenso "internal"-realistisch wie pragmatistisch, in jedem Fall aber anti-schematisch und anti-paradigmatisch reflektierender Wissenschaftshistorie des jüngst Vergangenen Aufschluß geben über den tatsächlichen Stand der "nature of physical knowledge"⁸¹.

Scientific Practise - ein Methodenstreit

It is the disorder of the scientific community – the laminated, finite, partially independent strata supporting one another ... – that is responsible for its strength and coherence.⁸²

In der Konsequenz müsste fortan eine Wissenschaftshistorie, die nach den multiplen Strukturen heterogener "communities" sucht,⁸³ die klassische Wissenschaftstheorie ersetzen, wenn denn der verlorene einheitliche Status der Physik als Wissenschaft überhaupt je wiederhergestellt werden kann. Aber nach welcher Geschichte wird hier gerufen? Was ist der Status von Geschichte, wenn die Wissenschaft, oder besser die 'science in practise', ihrer bedarf, um sich im Rahmen eines 'internen Realismus' über die lokalen Kommunikationschancen ihrer zerfallenen Gliederungen zu verständigen im Blick auf mögliche Sicherungen eines 'intern' prinzipiell unsicher gewordenen Forschungsprozesses? Die paradoxe Kernthese Galisons: "The disunification of science ... brings strength and stability", wiewohl sie von materialen Belegen nur so überquillt, hat um die Jahrtausendwende eine scharfe Debatte unter Wissenschaftshistorikern ausgelöst, die zu erörtern Gelegenheit gibt, einen möglichen Anschluss für eine mediale Genealogie der Elektrizität zu markieren.

Ohne nämlich zu klären, welcher Typ von Wissenschaftsgeschichte die paradoxe Behauptung trägt, die 'Enteignung' der Wissenschaft garantiere ihre Strenge, Gültigkeit und Stabilität, bleibt das Argument im epistemologischen Dunkel. Festzuhalten wäre zunächst, dass das Standard Modell gleichsam dafür steht, *keine* leitende, übergreifende Idee zu repräsentieren, sondern dass es eine pragmatische Übereinkunft bestimmter, heterogener diskursiver Praktiken anbietet, deren Funktion es ist, von verschiedenen Seiten her immer auch verschieden konkretisiert zu werden. Der materialen historischen Diagnose, dass "large-scale experiments", zumal in der Teilchenphysik dieses Jahrhunderts, "extend beyond any individual scientist or single community of scientists"⁸⁴ widerspricht ja in der Tat niemand ernsthaft.

Galisons Antwort auf diesen 'Wechsel in der Natur des physikalischen Wissens' zieht mit Bruno Latour die radikale Konsequenz, dass die Geschichte der Physik nicht länger durch ein übergreifendes epistemologisches Schema beschreibbar ist. Oder wie Latour sagen würde, dass Wissenschaft nicht länger beschreibbar ist nach dem Schema von 'Kern und Kontext'.

⁸⁰ Galison, Theory:1995, 404.

⁸¹ 403.

⁸² Galison, Image:1997, 844.

⁸³ Galison, Experiments:1987, 274f.

⁸⁴ Baigrie, Practise:1995, 97.

From air pumps to bubble chambers, from eighteen-century electrical experiments to parity violation, the dynamics of the workbench conform only piecewise to theoretical ideas.⁸⁵

Der Kern, die Idee, das 'Epistemologem', die Mathematik, das physikalische Gesetz, mag das Ideal der theoretischen Physik (Mittelstaedts und anderer) sein und bleiben, aber es ist nicht dasjenige, was gleichsam als Lineartriebkraft des natur- oder ideengeschichtlichen Fortschritts der Wissenschaft anzunehmen ist. Das genau ist die gemeinsame Einsicht der "post-kuhnianischen"⁸⁶ Wissenschaftshistorie. Die exemplarische Analyse des Mikrodiskurses der Teilchenphysik schließt die Festlegung eines epistemologischen Kerns der Entwicklung dieser diskursiven Formation immanent aus.

The relation of theory to experiment or of theory to mathematics or of theory to instrumentation is given through the local co-ordination of action and belief, even in the absence of global agreement.

Andrew Pickering hat auf den sozialen Relativismus hingewiesen, der in diesem wissenschaftssoziologischen Konzept Galisons steckt:

Peter Galison's ... analysis of constraint makes no distinction between the natural sciences and, say, the beliefs of the Azande.⁸⁷

In der Tat ist nicht erkennbar, was die Beschreibung und Klassifizierung eines lokalen Austauschs von 'Wissen' und Sprachen im Forschungsprozess der Physik von dem generellen Durkheimischen Gedanken einer durch die Arbeitsteilung zerfallenen sozialen Welt der Moderne trennen soll. Was hindert diesen Blick auf den Prozess des physikalischen Wissens daran, in einen vollständigen Konstruktivismus einer opaken Theorie der Evolution sozialer Systeme aufzugehen? Ist Naturwissenschaft immer ein "Wissen relativ zu einer partikularen Kultur"? Und heißt Historiographie dann nichts anderes als die gleichsam geschichtslose Chronologie dieser gleichgeltenden Verhältnisse? Latour:

Wäre die Geschichte im üblichen Sinne des Wortes 'sozial', hätte sie also ausschließlich menschliche Akteure, so wäre sie reversibel, vollständig umkehrbar und zeigte nirgends den akuten Ablauf der Zeit.⁸⁸

Auch Pickering, der die Wissenschaftsgeschichte um eine herausragende Studie zur Entstehung des Quark-Konzepts bereichert hat,⁸⁹ schließt sich, wie nahezu alle neueren Autoren der amerikanischen "history of science", um dem prekären Objektivismus der These von der Interaktion wissenschaftlicher Subkulturen zu entgehen, einem emphatischen "Praxis"-Begriff an, der auch bei Galison – eher stillschweigend als ausgesprochen – die Akkomodation der wissenschaftlichen Subkulturen leisten soll. "Scientific Practise" ist das, was die Experimentation und die Theorie der Physik aus den Strukturen und Regeln ihrer kulturellen Kontexte, denen sie zugleich angehört, herausführen soll. Doch dieser Praxis-Begriff, gibt Pickering zu bedenken, konstituiert noch nichts 'Geschichtliches'. "Practise" hält bestenfalls, salopp gesprochen, Geschichte in Gang.

Not ... *all* of practise can be caught up in notions that point to structure and regularity. Thus I have ... proclaimed that there is an irreducible element of contingency in the emergence of resis-

⁸⁵ Galison, Constraints:1995, 40f.

⁸⁶ Baigrie, Practise:1995, 120.

⁸⁷ Pickering, Temporality:1995, 53. (Azande: ein zentralafrikanischer Stamm).

⁸⁸ Latour, Joliot:1989, 903.

⁸⁹ Pickering, Quarks:1984.

tance and the achievement of accommodation, and I could have said the same about the process of goal formation that gets the dialectic of resistance and accommodation going.⁹⁰

Lässt sich in die Kontexte einer soziologischen Wissenschaftstheorie integrieren, was als 'Zufall' oder "it just happened" z.B. in der Experimentation der Physik geschieht? Ob nun Giacomo Morpurgo gleichsam ohne ersichtliche Begründung das (vergebliche) Ziel der Suche nach isolierten Quarks unternimmt,⁹¹ oder Heinrich Hertz "plötzlich" die beiden Fünkchen an einer allbekannten Rießschen Spule entdeckt⁹², was ihn zur Entdeckung des Elektromagnetismus führt - Pickering hat für diese Kontingenz der wissenschaftlichen Praxis den Ausdruck "relativity-by-chance" gefunden und hinzugefügt, dass in den Kontingenzen der Experimentation sozial bedingte Zwangsläufigkeiten oder gesellschaftlich vermittelte Ideologien keine erkennbare Rolle spielen. Ebenso wenig ergeben sich aus der historischen Rekonstruktion Möglichkeiten, die jeweils experimentellen Fragestellung aus der kontemporären physikalischen Theorie abzuleiten. Die historische Rekonstruktion des Experiments, aber auch das aus der Experimentation gewonnene 'Ergebnis', der gesicherte 'Effekt', und die zugehörigen Gewinnungsverfahren tragen gleichermaßen dann Züge dessen, was Pickering die "Irreduzibilität" des Historischen nennt.

The Contingency of practise points toward relativity-by-chance, otherwise known as historicity.⁹³

Dies markiert einen anderen 'Anti-Antirealismus' als den von Galison reklamierten. Die Kontingenz eines durch Experimentation und "practise" gefundenen naturwissenschaftlich gesicherten reellen 'Effekts' oder Verfahrens konstituiert in den Augen Pickerings und Latours eine andere 'Realität' als die eines sozialen Konstruktivismus.

Ein Historiker, der auf die nicht-menschlichen Akteure verzichtete, die bei den menschlichen Schlachten von den Wissenschaften und Techniken ins Feld geführt werden, verböte es sich, die Irreversibilität zu verstehen, das heißt genau den Verlauf der Zeit oder das, was an Historischem in der Historie ist.⁹⁴

Für Latour ist diese "nicht-menschliche" Dimension der 'scientific practise' die Dimension der "Dinge", die die Wissenschaft in einer unvorhersehbaren Kontingenz (eines Prozesses von "resistance and accomodation", wie Pickering sagt) gleichsam der Natur abringt. Die Irreversibilität und damit Historizität von Wissenschaft wird durch diesen Einsatz oder Einschub des "nicht-menschlichen" Agens der Kontingenz in den (im übrigen) sozialen Prozess der Wissenschaftskonstitution erzeugt.

Die Geschichte der Wissenschaften ... nötigt uns dazu, die vorgängige Trennung zwischen dem, was ist oder eine Geschichte hat (ob in langen oder kurzen Wellen, spielt dabei keine Rolle), und dem, was keine haben kann, explizit zu machen. Mit anderen Worten, sie hat uns gezwungen, auf die vorgängige Spaltung zwischen Kontingenz und Notwendigkeit zurückzukommen; zwischen dem, was den Menschen eignet, und dem, was den Dingen vorbehalten ist.⁹⁵

Gegen diese These Bruno Latours verschlägt auch nicht, dass alles, was über Dinge in der Wissenschaft zu sagen ist, konstruiert bleibt, also 'menschliches' Konstrukt ist.

⁹⁰ Pickering, Constraint:1995.

⁹¹ Pickering, Quarks:1984, 117f.

⁹² Fölsing, Hertz:1997.

⁹³ Pickering, Constraint:1995, 54.

⁹⁴ Latour, Joliot:1989, 903.

⁹⁵ Ebd.

Facts get constructed. A resistance emerges relative to a particular configuration of elements. A scientist avoids this resistance, thereby achieving a new stabilisation or encountering a new resistance.⁹⁶

Dennoch bleibt Pickerings Argument bestehen, dass, wie immer auch 'kulturalisiert', die diskursive Formation Wissenschaft elementare "Widerstände" und deren diskursive Akkomodation integriert.

Die Akkomodation, die diskursive Überwindung von 'Widerständen' (die sofort neue und zunächst ebenso unlösbare 'Widerstände' erzeugt), ermöglicht wissenschaftshistorisch in Verbindung mit dem antischematischen 'Lokalismus' Galisons in der Tat einen sinnvollen Ansatz für eine Genealogie der Elektrizität – und im Anschluss an sie eine Genealogie der elektrischen und elektronisch-digitalen Medien. Ohne eine stets schwankende diskursive Formation des Wissens in Theorie, Instrumentation und Experimentation; ohne eine zwar immer wieder theorie-dezentrierte, aber doch "lokal" akkomodierende Experimentation; ohne die daraus folgende Fülle von instrumentalistischen Verständnissen und Missverständnissen; ohne überlagerte und divergierende Theoriekonzepte in Bezug auf schwer deutbare Effekte; ohne eine oftmalige Verkettung von Misskonzepten, – wäre die Elektrizitätsgeschichte (und mit ihr die Geschichte elektrischer Medien von der Telegrafie bis zum Computer) über lange Zeiten nicht vorangekommen. Diese Irrgärten verursachten jene sich über Jahrhunderte schleppende Langsamkeit dieser komplexen Entwicklung von Theorie und Technologie einer heute allesbeherrschenden Energie. In der Geschichte der Elektrizität geht es um die Entdeckung und Erschließung eines "Effekts", der sich von Beginn an dem Zugriff einer sich bildenden Wissenschaft der Neuzeit entzieht und seiner Erschließung Widerstand entgegensetzt, um über lange Zeiten – bis ins aktuelle Standard Modell hinein – eben nur lokalistische, d.h. auf die Umgebung des Widerstands/Effekts selbst reduzierte Ad-Hoc-Erklärungen und Akkomodationen zuzulassen.

Wissen und Wissenschaft

Wenn also – kehren wir zu Galisons Beschreibung des herrschenden Standard Modells zurück – Theorien der Mathematik und phänomenologische Konzepte der theoretischen Physik bestenfalls die Rolle von Katalysatoren eines sie überbordenden Prozesses von Wissenschaft spielen, gerade gut genug, im Ganzen mitzuspielen und den Prozess von Wissenschaft in Gang zu halten, immer in Gefahr, der tendenziellen Fragwürdigkeit, gelegentlich gar dem Verdacht der Retheologisierung zu verfallen, – so erscheint fraglich, ob ein Begriff von Wissen in einem emphatischen, nämlich Wissenschaft konstituierenden Sinn überhaupt noch Geltung haben kann. Das ist die Schlüsselfrage jeder modernen Theorie der Naturwissenschaft. Es ist aber auch die jeder Theorie der Medien. Ist der Konnex zwischen Wissen und Wissenschaft gelöst, oder besteht er noch?

Am Frontend der Physik (wenn es gestattet ist, das Standard Modell dort verorten) ist allerdings ein Begriff des Wissens eher nicht mehr auszumachen, der den komplexen, brüchigen, ungeordneten und nicht-unifizierten Prozess der ihr zugehörigen Wissenschaft strukturiert. In dieser Diagnose ist sich die 'anti-antirealistische' Historik der 'Scientific Practise'-Community einig. Sowohl in der Forschung selbst, als auch in der Wissenschaftshistorik sind Tendenzen gut erkennbar, an die Stelle dieses ausgefallenen Begriffs eines Wissens bestenfalls eine wissenssoziologisch orientierte Selbstverständigung zu setzen, – eben einen „Standard“ und den auch noch als "Modell". Dieses Modell koordiniert zwar die Wissenschaft und die ihr zugehörigen Diskurse sehr gut, sagt aber möglicherweise im Sinne eines Wissens wenig mehr aus.

⁹⁶ Baigrie, Practise:1995, 107.

Der Brüchigkeit der formatierten Partitionen der Wissenschaft – Theorie, Instrumentation, Experimentation – stehen bestenfalls noch die lokalen Bindungskräfte der szientifischen Zwischensprachen entgegen. Es hält sie aber nicht ein Wissen zusammen, das alle seine Partitionen mit einer gemeinsamen Struktur durchdringt, sondern nur noch eine Formation von Wissenschaftlern, die nach gemeinsamen Finanzierungspfründen sucht. Ansonsten lehnt, wie ich gezeigt habe, die herrschende Epistemologie der Wissenschaftshistorik eine solche nachträgliche, durch etwaige ideengeschichtliche Schemata beigebrachte Konstruktionen eines übergreifenden Wissens rigoros ab.

Übrig bleibt, wenn man nicht dem Pierceschen Evolutionspragmatismus anhängt, eine epistemologische Ratlosigkeit. Es mag daher hilfreich sein, die entstandene Lage aus einer Perspektive neu zu bewerten, die in den später sechziger Jahren bereits von Michel Foucault im Projekt einer "Archäologie des Wissens" beschrieben wurde.

Während die post-kuhnianische Wissenschaftshistorie unter Aufbietung erheblicher Anleihen aus der Geschichte der Kulturosoziologie (Durkheim, Weber) einen De-Konstruktionsprozess von Wissenschaft zu beschreiben sucht, der "Wissen" im emphatischen Sinn ebenso mit in den Strudel lokalistischer, soziologistischer und pragmatistischer Relativismen herabzieht, stellt Foucault das Verhältnis Wissen - Wissenschaft, aus der Erfahrung seiner eigenen humanwissenschaftlichen Forschungen, genuin um. Foucault kann sich dabei auf eine sehr einfache historische Evidenz beziehen. Das Wissen, das er auf seinen Feldern (Psychologie, Strafpraktiken, Pädagogik, Sexualität u.a.) untersucht, emergiert nicht aus Wissenschaft, sondern geht ihr historisch voraus. Es ist die Wissenschaft, die "sich in einem Feld des Wissens [lokalisiert] und darin eine Rolle [spielt]"⁹⁷, nicht umgekehrt. Es gibt übrigens gut belegbare Gründe, warum ein ähnlicher Ansatz der strukturellen epistemologischen Emergenz von Wissenschaft aus dem Wissen auch für die Physik der Elektrizität geltend gemacht werden kann.

Im Sinne Foucaults ist die Rolle des Wissens zugleich historisch-persistent und historisch-transient in Bezug auf die Konstitution von Wissenschaft. Es existieren diskursive Formationen der Verwissenschaftlichung des Wissens, die rekonstruierbar sind. Foucault ordnet dem Wissen zunächst drei Diskurstypen zu. Das Wissen, im Sinne Michel Foucaults,

... ist auch der Raum, in dem das Subjekt die Stellung einnehmen kann, um von Gegenständen zu sprechen, mit denen es in seinem Diskurs zu tun hat; ... [ist] auch das Feld von Koordination und Subordination der Aussagen, wo die Begriffe erscheinen, bestimmt, angewandt und verändert zu werden ...; [ist] schließlich definiert ... durch die Möglichkeiten der Benutzung und der Aneignung, die vom Diskurs geboten werden....

Was den zu beobachtenden Ausfall des Wissens aus der Wissenschaft betrifft, bleibt Foucaults Definition zur Diagnose der neueren Lage der Wissenschaft Physik äquivalent. Galison beschreibt deutlich genug, dass das Subjekt, i.e. der Wissenschaftler der Mikrophysik, heute eben nicht mehr "im Wissen" all der Gegenstände seines Diskurses ist, insofern dieser Diskurs eine Überkomplexität erreicht hat und das Wissen des Wissenschaftlers umgekehrt Teil der 'Handelssprache' der Wissenschaft geworden ist, vereinfachtes, operational restringiertes Wissen, das einzig dazu dient, sich mit der Gemeinschaft im Diskurs lokal auszutauschen. Die Koordination und Subordination von Aussagen des Wissens sind davon beeinträchtigt und es ist nicht ausgemacht, ob Teile desjenigen Wissens, das jenseitige Teildiskurse betrifft, denen der Wissenschaftler nicht angehört, kaum mehr als Legenden enthalten. Die im Wissen prä-tendierte Einheit der diskursiven Formation, gleichsam der Fluchtpunkt des Wissens, dem seine Archäologie in "der Achse diskursive Praxis – Wissen – Wissenschaft" folgt, ist zerbro-

⁹⁷ Foucault, Archäologie:1969, 262.

chen und epistemologisch in Frage gestellt. Die entsprechenden Diagnosen der Dis-unifikation haben wir zitiert. Wissenschaft ist einer gegenläufigen Bewegung ausgesetzt, nämlich einer Bewegung der Delokation und Dislozierung des Wissens aus der Wissenschaft.

Vor dem Horizont einer Archäologie des Wissens, für die es keine andere Begründung gibt als die Geschichte des Wissens von einer Diskurspraxis namens Wissenschaft grundsätzlich zu unterscheiden, gehen Wissenschaft und Wissen nicht ineinander auf. Aus der strukturell-archäologischen Sicht Foucaults sind Wissen und Wissenschaft nicht auf einem homogenen Feld lokalisiert, auf dem die "diskursive Praxis"⁹⁸ der Wissenschaft am Ende auflöste, was aus der Vorgeschichte des umgebenden Wissens an Vorurteilen, Irrtümern oder Einbildungen übrig geblieben wäre. Dem entspricht ein Begriff des Wissens, der aus der Heterogenität seines Diskurses, aus den Überlagerungen, Verschiebungen und sedimentierten Vernetzungen die Potentiale bewahrt, sich an spezifischen Schwellen, nämlich da, wo es um die 'Entdeckung neuen Wissens' geht, immer wieder zu kondensieren. Francis Crick, der Co-Entdecker der DNA, hat das so formuliert:

Als Wissenschaftler benötigen wir Wissen, wenn wir uns an die Entdeckung neuen Wissens machen wollen.⁹⁹

Denn die Funktion des Wissens ist nicht, die Dinge so darzustellen, wie sie vermeintlich "wirklich" sind.¹⁰⁰ Das "Wissen dient nicht dem Verstehen, sondern dem Zerschneiden"¹⁰¹, wie Foucault an anderer Stelle bemerkt. Der entscheidende Einwand, der daraus folgt, richtet sich gegen einen ebenso naiven wie blinden Szientismus, der fraglos unterstellt, dass Wissen immer schon aus Wissenschaft emergiert. Wenn es aber einen Sinn macht – gerade vor dem Horizont einer Genealogie der Elektrizität und der Medien –, die Differenz zwischen Wissen und Wissenschaft festzuhalten, dann den, dass es zwar einen immanenten Anspruch des Wissens geben mag, eo ipso wissenschaftlich zu sein, diesem Anspruch aber keineswegs immer eine historische Diskurspraxis entspricht, die ihn je schon erfüllt. Das atlantische Standard Modell selbst ist dafür ein deutliches historisches Beispiel.

Gleichwohl unterstellt die amerikanische Wissenschaftshistorik die Homogenität und Ununterscheidbarkeit von Wissen und Wissenschaft unausgesprochen und implizit. Auch da, wo ganz offensichtlich Inkohärenzen zu beobachten sind, Asymmetrien zwischen Wissen und Wissenschaft, geht es ihr immer noch eher um "Begradigungen, die [sie] Geschichte nennt", welche aber doch "nichts weiter als Funktionen sind, Geschöpfe zur Befriedigung des Begehrens nach einem logos-getriebenen Prozeß"¹⁰². Paradox genug, werden solche Grundschemata der eigenen Logifizierung, wie gesehen, dann auch wieder abgelehnt.

Diese Paradoxie löst sich in der Annahme der Heterogenität des Verhältnisses von Wissen und Wissenschaft. Schon aus Sicht der aktuellen Reflexionen um die Diskontinuität und Heterogenität von Experimentalsystemen lohnt es, diesem Ansatz weiter zu folgen. Foucault muss, um das Schema seiner Archäologie annähernd zu umreißen, eine "Episteme" skizzieren, die die Einschreibung der Wissenschaft und Wissenschaftlichkeit ins Wissen genealogisch zu rekonstruieren versucht. Er schlägt bekanntlich vor, die Einschreibung der Wissenschaft ins

⁹⁸ auch Foucault kennt einen Praxisbegriff. Foucault, Archäologie:1969, 262.

⁹⁹ Crick, Molekülen:1970, 64.

¹⁰⁰ Rheinberger, Bemerkungen:1998, 61.

¹⁰¹ Foucault, Nietzsche:1971, 80.

¹⁰² Rheinberger, Experiment:1992, 53.

Wissen in historischen Etappen zu typisieren. Eine Verwissenschaftlichung von Wissen verläuft in Etappen und überschreitet in der Regel hintereinander die "Schwelle der Epistemologisierung", die bestimmte Formatierungsregeln enthält, die "Schwelle der Wissenschaftlichkeit", die definierbare Konstruktionsregeln enthält und schließlich die "Schwelle der Formalisierung", die die notwendigen Axiomatisierungen enthält. Diesen Dreischritt hat die Physik seit dem frühen siebzehnten Jahrhundert erkennbar vollzogen, wenngleich ihre letzte Schwelle, die der axiomatisierten Formalisierung, ein bislang unerfülltes, aber, seit der Jahrhundertwende 1900, ein proklamiertes Programm geblieben ist.

Folgen wir Foucaults Typisierung, so bleibt signifikant, dass die Differenz von Wissen und Wissenschaft sich gleichwohl auch in jenen schwellenartigen Formierungen nicht auflöst. Nichts geht hier ohne Rest, Bruchpunkte, Verschiebungen. Auch Rückschläge gehören dazu, Rückentwicklungen, wie sie beispielsweise heute einige Stimmen aus der oben beschriebenen Diskussion um die Superstringtheorie beklagen. Für Foucault selbst galt als die große Ausnahme seiner Schematik, wie er nicht ohne gewissen Grimm vermerkt, jene Historik, die für die Mathematik zu schreiben wäre. Für Foucault nimmt die Mathematik noch eine Sonderstellung ein. Es ist eine Wissenschaft,

die mit einem Male die Schwelle der Epistemologisierung, die der Wissenschaftlichkeit und die der Formalisierung überschritten hat. Die Möglichkeit ihrer Existenz implizierte, dass von Anfang an das gegeben war, was überall sonst während der ganzen Geschichte verstreut bleibt.

Aber auch hier haben neuere Forschungen, im Rückgriff auf die Axiomatisierungskrise um 1900, den Versuch unternommen, die Differenz von mathematischem Wissen und mathematischer Wissenschaft zu restituieren.¹⁰³

Folgt man, wie Foucault, einer gleichsam historischen "Werktreue" des Wissens, und skandiert umgekehrt die Entwicklung der Wissenschaft nicht aus einer immanenten Logik des Wissens selbst, so eröffnet sich vor dem Horizont der vorgeschlagenen Periodisierung von Wissenschaft der Blick auf drei unterscheidbare Typen von Wissenschafts-Geschichtsschreibung. Die Probleme einer Historik der Mathematik liegen darin, dass diese Wissenschaft, deren "Formalisierungsschwelle" nahezu unhintergebar erscheint, nur "rekurrentiale Analysen"¹⁰⁴ zulässt. Historische Analysen bleiben notwendig immanent und wenden einmal gefundene formale Niveaus, z.B. Notationen und die mit ihnen verbundenen "figures of thought"¹⁰⁵, rekursiv an. Rekurrentiale Wissenschaftshistoriken verwenden notwendigerweise einen hohen Anteil immanenter Transkriptionen und können kaum Rücksicht darauf nehmen, dass in Originaltexten, z.B. in Maxwells "treatise", die ihnen historisch zugewiesenen Notationen, z.B. jene vier 'Feldgleichungen', die 'heute' als die gültigen 'maxwellschen' unterstellt werden, sich in Maxwells Text überhaupt nicht finden lassen. Rekurrentiale Historiken repräsentieren somit am ehesten noch das theoretische Ideal wie auch das Ideal des Theoretischen einer jeden Wissenschaft. Mittelstaedts Befund, dass die Physik in der Regel ihre wissenschaftlichen Formalisierungen und Gesetze "final vom Ergebnis her bestimmt und determiniert" darstellt, entspricht diesem Ideal. Unsere, Galison folgende Beschreibung des atlantischen Standard Modells der Teilchenphysik aber spricht dagegen. Solche Modelle folgen offensichtlich einer anderen Historik.

¹⁰³ vgl. Hintikka, Essays:1995, Reed, Figures:1995, Rotman, Zero:1993, Stillwell, Mathematics:1991, Mehrrens, Moderne:1990.

¹⁰⁴ Foucault, Archäologie:1969, 270ff.

¹⁰⁵ vgl. Reed, Figures 1995.

Beschreibungen von Wissenschaften nämlich, die die Strenge ihrer Formalisierungsschwellen nicht vollständig vollziehen konnten oder vollzogen haben – und dazu gehört die Mikrophysik; Wissenschaften also, die Unreinheiten, Inkonsistenzen und Unwissenschaftliches zulassen (müssen), um in ihrer wissenschaftlichen Konstitution zugleich ihre Vorgeschichte und ihre mögliche oder unmögliche Perspektive mitzuteilen, gibt Foucault den Typnamen einer "epistemologischen Geschichte".

Diese Beschreibung [nimmt] die konstituierte Wissenschaft zur Norm; die Geschichte, die sie erzählt, wird notwendigerweise durch den Gegensatz zwischen Wahrheit und Irrtum, Rationalem und Irrationalem, Hindernis und Fruchtbarkeit, Reinheit und Unreinheit, Wissenschaftlichem und Unwissenschaftlichem gegliedert.

Wir fassen die erörterten Debatten um das Standard Modell und die Superstringtheorie, den heftigen Streit und die epistemologischen Sorgen, die wir vernommen haben, unter diesen Typ. Die Experimentations-Debatte der "Scientific Practise"-Historiker gehen in eine ähnliche Richtung; sie nehmen die konstituierte Wissenschaft zur Norm, um die dekonstruktiven Tendenzen, die sie diagnostizieren, durch Rückgriffe auf kognitionspsychologische, institutionensoziologische, oder neo-pragmatistische Ansätze zu renormieren.

Eine Medientheorie aber, die – weit davon entfernt, auf einen schon gesicherten, positivierten Bestand von Wissenschaftlichkeit zurückgreifen zu können – die vorherrschenden Ausblendungen einer 'Materialität der Kommunikation' zurückzunehmen sucht, um stattdessen die Genealogie der technischen Medien aus der Historik der physikalischen Experimentation zu rekonstruieren, kann sich auf den Typ einer epistemologischen Geschichte der Physik allein nicht beziehen. Zudem spricht, im Blick auf das Zwischenergebnis der erörterten Debatten um die Standard-Modell-Physik, einiges dafür, einer rein epistemologischen Geschichte von Wissenschaft generell zu misstrauen; schon der engen zirkulären Struktur wegen, die sich aufbaut, wenn die Emergenz von Wissenschaftlichkeit mit Wissenschaftlichkeit soll erklärt werden können. Die interne Debatte um die 'Scientific Practise' hat durchaus etwas von dieser zirkulären Struktur.

Um dem zu entgehen, hat Foucault ein dritte Ebene von Wissenschaftshistorik vorgeschlagen, an die wir uns anschließen wollen: eine "archäologische Geschichte" von Wissenschaft.

Auf diesem Niveau dient die Wissenschaftlichkeit nicht als Norm: was man in dieser *archäologischen Geschichte* freizulegen versucht, sind die diskursiven Praktiken, insoweit sie einem Wissen Raum geben und dieses Wissen das Statut und die Rolle von Wissenschaft annimmt. Auf diesem Niveau eine Geschichte der Wissenschaft anzupacken, heißt nicht diskursive Formationen ohne Beachtung der epistemologischen Strukturen zu beschreiben. ... Wenn man in der historischen Dichte der Wissenschaften das Niveau der diskursiven Praxis erforscht, will man sie nicht auf ein tiefes und ursprüngliches Niveau zurückführen, will man sie nicht auf den Boden gelebter Erfahrung zurückführen ...; will man zwischen Positivitäten, Wissen, epistemologischen Figuren und Wissenschaften das ganze Spiel der Unterschiede, der Beziehungen, der Abstände, der Verschiebungen, der Unabhängigkeiten und der Autonomien und die Weise erscheinen lassen, wie ihre eigenen Historizitäten sich aneinander artikulieren.¹⁰⁶

Eine archäologische Geschichte der Elektrizität und der elektrisch/elektronischen Medien hätte diesem Ansatz zu folgen, welcher einen Begriff des Wissen und einen ihm entsprechenden Begriff der diskursiven Praxis und Heterogenität seiner Logik freilegt. Dabei geht es weder darum, die epistemologischen Formierungen des Wissens außer Acht zu lassen oder – von irgendeiner Logik her – für unmöglich zu erklären.

¹⁰⁶ Foucault, Archäologie:1969, 271f.

In einer archäologischen Geschichte der Elektrizität ginge es niemals darum, in der Analyse der diskursiven Formationen, in denen sich das Wissen über die Elektrizität wissenschaftlich anreichert, Terme einer Weltanschauung, eines allgemeinen Stadiums der Vernunft oder eine Wesenslogik ontologischer Prägung aufzudecken. Wohl aber ist zu zeigen, wie aus der besonderen Rolle des Experiments in der Genealogie der Elektrizität solche Terme immer wieder zwingend hervorgehen. Es geht insgesamt darum, unter Durchlaufung eines prinzipiell unbegrenzten Feldes der Beziehungen, die die diskursive Formation der Erschließung der Elektrizität kennzeichnet, die Phasen des Wissens aufzudecken, die jene Absteppunkte prägen, an denen die elektrischen Medien das historische Feld betreten. Diese Phasen sind, mal flüchtig, mal indirekt, mal explizit, gekoppelt an einschneidende Einzigartigkeiten der Experimentation, der Instrumentation und der Theorie.

Vor diesem Horizont liesse sich sagen: Über weite Strecken der historischen Entwicklung, von 1600 bis spät ins achtzehnte Jahrhundert hinein, bildet sich das Wissen von Elektrizität innerhalb der Wissenschaft - paradox genug - nicht-wissenschaftlich heraus. Bis hin zu Coulombs Abstandsquadratgesetz der elektrischen Anziehung (~1780) kann die neuzeitliche Wissenschaft Elektrizität nicht nach ihren eigenen Maßstäben anschreiben. Unterstellt, man beschreibe die Elektrizität als einen ungelehrigen Wissens-Schüler und die Wissenschaft als Disziplinierungs-Disziplin; unterstellt, man verstünde Foucaults Abstufung der Verwissenschaftlichung (Positivierung, Epistemologisierung, Formalisierung) als fortschreitenden Prozess der Individuation von Wissen und seiner inneren Zurichtung, – so hätte sich die Elektrizität diesem Prozess über Jahrhundert am längsten widersetzt. In dieser über lange Zeit latent gegebenen Nicht-Wissenschaftlichkeit der Elektrizität liegen Momente einer Störung des Wissens, einer fundamentalen Irritation. Dass ihre Experimentation immer wieder zu desintegrierenden Missverständnissen Anlass gab und nicht hineinpasste in die sich formierenden Formalisierungsstrukturen der Verwissenschaftlichung anderer Disziplinen und Gegenstandsbereiche (analytische Mechanik etc.), – das identifizieren wir als Bruchstellen in der Formation ihrer Wissenschaftlichkeit, als Momente der Störung, die Insignien sind der Herausbildung eines spezifischen, um die gleichwohl so mächtigen Elektrizitätseffekte herum arrondierten technologischen Dispositivs der Macht. Dieser Begriff von Macht wäre zu verstehen als eine Art von Kristallisation der Indifferenz von Wissen und Wissenschaft am spezifischen Gegenstand der Elektrizität, der sich auch noch, infolge derselben fortwirkenden epistemologischen Indifferenz, in den Technologien und Medien der Elektrizität manifestierte.

Dispositive der Macht

Im Blick auf die Großforschungsgeschichte der Mikrophysik des zwanzigsten Jahrhunderts ist offensichtlich genug, dass die Physik der Elektrizität eben so sehr verwoben ist in einen immanenten Diskurs des Wissens wie immer noch und unverändert in ein Diskurssystem der politischen Macht und des Krieges. Diese Verwobenheit der Wissensformation der Physik mit Dispositiven der Macht gehört zu dem Bild, das eine Physik, die zu ihrer Historizität als Wissenschaft wiederfinden will, offenlegen muss. Die Geschichte der Physik, beginnend mit dem für die militärische Erzförderung zuständigen Physiker Gilbert an Elisabeths Hof, dem Physiker der Signorina Galilei und dem Militäroffizier Descartes, war stets gezeichnet von solchen Verknotungen mit den Interessen und den Ressourcen der Macht. Napoleon hat den Erfinder der Batterie, Alessandro Volta, – ganz gegen den Rat seiner Wissenschaftler – um 1800 mit einem grossen Preis geehrt und damit zur weltweit anerkannten Instanz gekürt.

Im zwanzigsten Jahrhundert finden wir ähnliche Verbindungen. Seit Anfang der vierziger Jahre war die amerikanische Kriegsforschung die Auftraggeberin und Organisatorin der Erschlie-

ßung atomarer und subatomarer Effekte. Ohne Los Alamos und das gigantische „Manhattan Project“ hätte die Wissenschaft die Möglichkeit nicht gehabt, sie zu beschreiben, zu sichern und zu 'beherrschen'. Mit Foucaults prinzipieller Einsicht jedoch, und vor dem Horizont der materialen Studien Galisons, teilen wir die Vermutung, dass es unmöglich ist, eine begriffliche Kongruenz zwischen Wissen und Macht herzustellen. Macht setzt, in Bezug auf Wissen und Wissenschaft, eine neue Indifferenz.

Im Blick auf die entropische De-Epistemologisierung des Wissens der neuesten Mikrophysik darf genau diese andere Hälfte der Wahrheit nicht aus dem Blick geraten. Sie hat mit der Immanenz generischer Wissenschaftsformierungen nichts zu tun. Atomare Großforschungsanlagen wie die, die derzeit der Elektrizität ihre letzten teilchenphysikalischen Geheimnisse entlocken, beruhen auf Logistiken, die aus dem Zweiten Weltkrieg kommen und unmittelbaren Kriegszielen unterworfen waren. Erst der Atombombenbau von 1942 bis 1945 im Manhattan-Projekt hat es möglich gemacht, zu denken und zu organisieren, dass Tausende Wissenschaftler und Ingenieure an einem Ort (bzw. zu einer Sache) zusammengezogen und koordiniert wurden.¹⁰⁷ Wenn es, neben den beiden Bomben selbst, einen Erfolg von Los Alamos wissenschaftshistorisch zu verzeichnen gäbe, dann den der erfolgreichen Implementierung von „operations research“ in wissenschaftliche Großprojektierungen. Kein anderes Land hatte je zuvor ein solches Unterfangen zu bewältigen gehabt. Schon ein flüchtiger Blick auf die Dokumentation der Los Alamos - Arbeit zeigt das Vorbild der heutigen Dreiteilung der Großforschungsprozesse Galisons in der ursprünglichen Fünfteilung des Atomprojekts: „Theoretical Division“ (zuständig für die Theorie der Spaltung), „Experimental Physics Program“ (Differential- und Integraltests), „Chemistry and Metallurgy“ (Urangewinnung), „Ordnance Program“ (Bombenkonstruktion), „Reviewing Committee Program“ (Operations Research).¹⁰⁸ Galison bestätigt das:

Theses collaborative relations were firmly established at the huge project centers for scientific warfare: in the Metallurgical Laboratory of Chicago, in the vastly augmented Berkeley Radiation Laboratory, at Harvard's Radio Research Laboratory, in the rocket plants of Caltech, at the MIT Rad Lab, at Oak Ridge, and at Handford. So it was, when the war ended, that a Brookhaven, a Stanford Microwave Laboratory, or a rejuvenated Berkeley Radiation Laboratory naturally assumed a style of physics that elevated the role of theorists in the shaping of research programs, while keeping scientific engineering front and central.¹⁰⁹

"Nur der Krieg macht es möglich, die sämtlichen technischen Mittel der Gegenwart unter Wahrung der Eigentumsverhältnisse zu mobilisieren"¹¹⁰, hat Benjamin 1936 lapidar festgestellt. Dazu gehört auch die Reorganisation von Wissenschaft und ihrer Forscherorganisation im Stadium von Großforschungslogistik. Die Klobigkeit der zergliederten Sparten der Teilchenphysik ist ein Folge dieser Mobilisierung. Die Kontinuität der kriegsbedingten Organisation der amerikanischen Physik bleibt unverkennbar in den folgenden Friedensjahrzehnten. In dieser Rückschau hat sich ja auch längst das Geheimnis um den angeblichen 'Wetlauf' um die Bombe zwischen Nazi-Deutschland und den USA gelüftet. Es gab ihn nicht. Nicht das physikalisch-technologische Wissen an sich (Heisenberg u.a. hatten es), sondern allein die (nicht einmal in Ansätzen vorhandene) Organisation der Instrumentation, Experimentation und Theorie der deutschen Atomforschung war die Ursache dafür, dass nicht im Nationalsozialismus,

¹⁰⁷ Rhodes, Atombombe:1986, 455ff.

¹⁰⁸ Hawkins, Trinity:1988, 17ff; auch Rhodes, Atombombe:1896, 420ff.

¹⁰⁹ Gallison, Image:1997, 305.

¹¹⁰ Benjamin, Kunstwerk:1936, 382.

sondern in den USA die erste Atombombe gezündet wurde. Das den Nazis unbekannte Geheimnis aller Großforschungsprojekte, beginnend mit Manhattan, "Project Y" und Los Alamos hieß: "OR" - Operations Research, Gliederung und Kontrolle des Wissenschaftsprozesses der Forschung. Die berühmten Farm-Hall Gespräche der deutschen Physiker, abgehört vom englischen Geheimdienst, haben dies unmissverständlich zutage gefördert:

It was immediately clear that isotope separation must have required an extraordinary collaboration among the American physicists, teamwork of a type and scale unknown in their laboratories.¹¹¹

Risiken der Macht

Systemtheoretische Bemühungen um die Definition eines konsistenten Begriffs von Macht haben zutage gefördert, dass es offenbar nicht die positiven, einem Begriff des Wissens zuordenbaren Merkmale sind, die die Dispositive der Macht konstituieren. Wenn dem so wäre, so sollte sich zeigen lassen, wie aus verschobenen und entsubjektivierten, subvertierten Figuren neuzeitlichen Wissens zugleich jene leitenden Strukturen hervorkämen, die die Prozesse der Macht ausmachen. Dem aber ist nicht so. Wissen ist nicht machtbildend, wiewohl es immer wieder ihr mächtigstes Mittel, ihre vornehmste Dienerin ist. Tatsächlich aber subvertiert es zugleich die Macht, die sich immer unter dem Anschein eines Wissens etablieren muss. So wie Macht in die Gestalten einer Historie schlüpfen muss, "welche die Vielfalt der Zeit in eine geschlossene Totalität einbringen und auf einen Nenner bringen will"¹¹², kann im Wissen einer Historie, die die Ereignisse in ihrer "einschneidenden Einzigartigkeit hervortreten" lässt, gezeigt werden, "dass unsere Gegenwart auf tiefen Intentionen und stabilen Notwendigkeiten beruht" und zugleich, "dass wir ohne ursprüngliche Fixpunkte und Koordinaten von ungezählten entschwundenen Ereignissen leben".¹¹³ Im Anschluss an das Nietzschesche Programm kann diese Paradoxie, statt fortgesetzt in einem Kalkül der Macht verstummen zu müssen, durch eine Archäologie des Wissens offen gehalten werden und – durchaus im Sinne der Wiedergewinnung von wissenschaftlicher Positivität – überleben.

Foucault hat nicht nur diese Differentialität des Wissens markiert, sondern zugleich vorgeschlagen, die Differenz des Wissens zu den Konzepten der Macht innerhalb einer Genealogie von Wissenschaft aufzulösen. Dem hat eine Medienwissenschaft, in der ein besonderes Spannungsverhältnis von Macht, Wissen und Wissenschaft Thema ist, zu genügen. In einer "archäologischen Geschichte"¹¹⁴ des Wissens und der Wissenschaft können jene diskursiven Formationen wieder freigelegt werden, welche, an einer bestimmten 'Schwelle zur Positivität'¹¹⁵, den epistemologischen Status einer Wissenschaft bestimmt haben. Dieses Dreieck: Macht (die sich des Wissens bedient), Wissen (das seine genealogische Offenheit bewahrt) und Wissenschaft (die in sich Teile des Wissens binden kann) neu zu durchdenken macht am Frontend der Geschichte der Teilchenphysik besonderen Sinn. Im atlantischen Standard Modell finden wir den terminus ad quem einer Geschichte der Physik, die von Anfang an im Kontext der Macht

¹¹¹ Gallison, Image:1997, 310.

¹¹² Foucault, Nietzsche:1971, 79.

¹¹³ Foucault, Nietzsche:1971, 80f.

¹¹⁴ Foucault, Archäologie:1969, 271.

¹¹⁵ 265.

operiert, und von Anfang an "ein Wissen oder vielmehr Wissensapparate entwickelt, organisiert und in Umlauf setzt, die keine ideologischen Gebäude sind."¹¹⁶

Den aus einer pragmatistischen Wissenschaftshistorie herkommenden Warnungen, die Wissenschaft der Mikrophysik verliere ihren Charakter an Wissenschaftlichkeit oder verschiebe das Verhältnis von Wissen und Wissenschaft in eine unbestimmte Richtung, entspricht insofern auch eine Foucaultsche Diagnose. Vor ihrem Horizont diffundieren die "subcultures" des Standard Modells gewissermaßen zurück in das, was Foucault eine "diskursive Formation" nennt, in der die Rationalität eines Wissens gleichrangig auftritt neben Figuren des Vorurteils, des Irrtums, der Interkalationen des Mißverstehens und all jener "unbound theories", die Galison beschreibt. Wenn es Macht ist, die das Prozedieren der Wissenschaft Physik trägt, so entspricht dem weder ein leitender, die Wissenschaft strukturierender Begriff des Wissens, auch nicht ein subvertierter, noch eine Ideologie. Ideologien bieten die diskursiven "Shifter" nicht, die es ermöglichen, dass Macht sich auf dem Feld der Wissenschaft geltend macht. Macht innerhalb der Wissenschaft ist keine leitende diskursive Praxis, die sich, um zur Geltung zu kommen, als Ideologie artikulieren muss. Ihr Übergreifen in die Formation der Wissenschaft ist nicht einmal funktionell begründet in Bezug darauf, was eine Wissenschaft für die Gesellschaft leistet oder nicht. Das mag ihr Stärke und Durchsetzungskraft verleihen, begründet aber nicht ihre Macht. Ihr Übergreifen in das Feld der Wissenschaft vermittelt sich ebenso wenig über die Ebene des Bewusstseins der Subjekte, die sie errichten.

Macht ist vielmehr, nach Foucault und auch nach Luhmann, ein "Kodex der Normalisierung"¹¹⁷, der eine materiale Form der Disziplinierung und Individuation von Wissen in Wissenschaften ermöglicht. Es geht darum, Störungen im Wissen zu beseitigen und Wissenschaft zu organisieren. Weniger also geht es darum, Macht eine eigene wissensbasierte Potenzialität zuzusprechen, als vielmehr, mit Luhmann, Macht von dem Risiko geprägt zu sehen, "dass sichtbar wird, dass die Macht ihre eigenen Möglichkeiten nicht nutzt".¹¹⁸ Das heißt nichts anderes, als dass die Positivierung des Wissens als Wissenschaft eine Macht konstituierende "Technologie der Wahrheit" ist, die als eine entkoppelte Parallelentwicklung zur Durchsetzung und Stützung jenes prekären abendländischen Machtdispositivs der Souveränität im Sinne Carl Schmitts zu beschreiben wäre. Im Blick auf die Physik ist die Macht, und zwar die immer jeweils hegemonial führende, präsent als Inauguration und Sicherung des Prozesses der Wissenschaft, nicht aber eines Prozesses, der zum Wissen führt.

Literatur:

Baigrie, Brian S.: Scientific Practise: The View from the Tabletop, in: Buchwald, Practise:1995, 87-122

Bando, Masako (Hrsg.): From the Standard Model to Grand Unified Theories, Kyoto:1996

Besancon, Robert M.: The Encyclopedia of Physics, Third Edition, New York:Van Nostrand Reinhold 1974.

Boi, Luciano: Die Beziehungen zwischen Raum, Kontinuum und Materie im Denken Riemanns; die Äthervorstellung und die Einheit der Physik. Das Entstehen einer neuen Naturphilosophie, Erschienen in: Philosophia naturalis, Bd. 31 (1994), H. 2, S. 172-216.

¹¹⁶ Foucault, Souveränität:1976, 87.

¹¹⁷ 93.

¹¹⁸ Luhmann, Macht:1988, 86.

- Buchwald, Jed Z.(Hg): Scientific Practise. Theories and Stories of Doing Physics, Chicago 1995.
- Corry, Leo: David Hilbert and the Axiomatization of Physics (1894-1905), in: Arch. Hist. exact Sci. 51, 1997, 83-198.
- Crary, Jonathan: Techniken des Betrachters. Sehen und Moderne im 19. Jahrhundert <Techniques of the Observer. Vision. and Mdernty in the Nineteenth Century, MIT 1990>, Dresden, Basel:Verlag der Kunst 1996.
- Crick, Francis: Von Molekülen und Menschen <Of molecules and men >, München: Wilhelm Goldmann, 1970.
- Davies, Paul / Brown, Julian R.(Hg): Superstrings. A Theory of Everything, Cambridge:University Press 1988. Dtsch: Superstrings. Eine Allumfassende Theorie der Natur in der Diskussion, München:DTV 1992.
- Descartes, René: Die Prinzipien der Philosophie <Principia Philosophiae, Amstelodami:Elzevier 1644>, Darmstadt:Meiner 1955.
- Feynman, Richard: Vom Wesen physikalischer Gesetze <The Character of Physical Law, Cambridge u. a.:MIT Press 1967>, München 1996.
- Fölsing, Albrecht: Galileo Galilei. Prozeß ohne Ende. Eine Biographie, <1983>, Taschenbuchausgabe, Reinbek:1996.
- Fölsing, Albrecht: Heinrich Hertz. Eine Biographie. Hamburg:Hoffmann & Campe 1997.
- Foucault, Michel: Archäologie des Wissens. <L'archéologie du savoir, 1969>, 7. Aufl., Frankfurt:Suhrkamp 1995.
- Foucault, Michel: Dispositive der Macht. Über Sexualität, Wissen und Wahrheit. Berlin:Merve 1978.
- Foucault, Michel: Nietzsche, die Genealogie, die Historie <1971>, in: Foucault, Subversion:1987, 69-90.
- Foucault, Michel: Recht der Souveränität / Mechanismus der Disziplin. Vorlesung vom 14. Januar 1976, in: Foucault, Dispositive:1978, 75-95.
- Foucault, Michel: Von der Subversion des Wissens: mit einer Bibliographie der Schriften Foucaults / Michel Foucault. - Ungekürzte Ausg., [Nachdr.]. - Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verl., 1996.
- Galison, Peter L.: Context and Constraints, in: Buchwald, Practise:1995, 13-41.
- Galison, Peter Louis: Image and Logic. A Material Culture of Microphysics, Chicago u.a.: University of Chicago Press 1997.
- Galison, Peter: How Experiments End, Chicago 1987.
- Galison, Peter: Theory Bound and Unbound: Superstings and Experiment, in: Weinert, Laws:1995, 369-408.
- Goodman, Nelson: Weisen der Welterzeugung <1978>, 4. Aufl., Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1998 .
- Grotelüschen, Frank: Der Klang der Superstrings. Einführung in die Natur der Elementarteilchen, München:DTV 1999.

Hedrich, Reiner: Die nicht ganz so unglaubliche Effizienz der Mathematik in den Naturwissenschaften, in: *Philosophia Naturalis*, 30, 1993, 106-125.

Heilbron, J.L.: *Electricity in the 17th and 18th Century*. Berkeley 1979.

Heilbron, J.L.: Two Previous Standard Models, in: Hoddeson, Rise:1997, 45-54.

Heisenberg, Werner: Abschluß der Physik <1971>, in: Heisenberg, Werke:C:III, 385-392.

Heisenberg, Werner: *Gesammelte Werke, Collected Works*. Abt. C: Allgemeinverständliche Schriften, Hg. von Blum, Walter, Dürr, Hans-Peter, Rechenberg, Helmut, München u.a.:Piper 1984.

Heisenberg, Werner: Harmonie der Materie. Ein Gespräch mit Prof. Werner Heisenberg <1967>, in: Heisenberg, Werke:C:II, 388-93.

Heisenberg, Werner: Philosophische Probleme in der Theorie der Elementarteilchen <1970>, in: Heisenberg, Werke:1984:C, 410-22.

Heisenberg, Werner: Philosophische Probleme in der Theorie der Elementarteilchen <1970>, in: Heisenberg, Werke:1984:C, 410-22.

Hintikka, Jaakko (Hg): *From Dedekind to Gödel: essays on the development of the foundations of mathematics*, Dordrecht [u.a.]: Kluwer Academic Publishers, 1995.

Hoddeson, Lillian / Brown, Laurie / Riordan, Michael / Dresden, Max (Hg): *The Rise of the Standard Model. Particle Physics in the 1960s and 1970s*, Cambridge:Cambridge Univ. Press 1997.

IEC: *Multilingual Dictionary of Electricity* Genève:Bureau Central de la Commission Electrotechnique International 1983.

Kanitscheider, Bernulf: *Im Innern der Natur: Philosophie und moderne Physik*. Darmstadt: Wiss. Buchges., 1996.

Kruse, Petra u.a. (Hg): *Gen-Welten: Prometheus im Labor?* ; Bonn, Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, 27.3.1998 - 10.1.1999 ... *L'alimentation au fil du gène*, Vevéy, Schweiz, Alimentarium, 27.3.1998 - 10.1.1999 / [Hrsg.: Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland GmbH. Katalogkoordination: Petra Kruse], Bonn: Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, 1998.

Latour, Bruno: Joliot: Geschichte und Physik im Gemenge, in: Serres, *Elemente*:1989, 869-903.

Lenk, Richard: *Fachlexikon ABC Physik: ein alphabetisches Nachschlagewerk in zwei Bänden* ; etwa 12000 Stichwörter / 2 Bde., [Hrsg.: Richard Lenk ...], Thun u. a.: Deutsch 1989.

Luhmann, Niklas: *Beobachtungen der Moderne*, Opladen:Westdeutscher Verlag 1992.

Luhmann, Niklas: *Macht*, Stuttgart:Enke 1988.

Mehrtens, Herbert: *Moderne Sprache Mathematik. Eine Geschichte des Streits um die Grundlagen der Disziplin und des Subjekts formaler Systeme*, Frankfurt:Suhrkamp 1990.

Münster, Gernot: Epistemologische Aspekte der neuen Entwicklungen in der Physik, in: *Philosophia Naturalis*, 27, 1990, 83-98.

Peirce, Charles Sanders: *Chance, Love, and Logic. Philosophical Essays*. By the Late Charles S. Peirce. Ed. with an Introduction by Morris R. Cohen. With a Supplementary Essay on The

Pragmatism of Peirce by John Dewey, New York: Harcourt, Brace & Co. ; London: Kegan Paul Trench, Trubner & Co., 1923.

Penrose, Roger: The Emperor's New Mind. Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics, New York 1989, dtsh: Computerdenken, Heidelberg 1991.

Pickering, Andrew: Beyond Constraint: The Temporality of Practice and the Historicity of Knowledge, in: Buchwald, Practise:1995, 42-55.

Pickering, Andrew: Constructing Quarks. A Sociological History of Particle Physics, Edinburgh:1984.

Polchinski, Joseph Gerard: Superstring theory and beyond, Vol 2 of: String theory, Cambridge [u.a.]: Cambridge University Press, 1998.

Putnam, Hilary: Von einem realistischen Standpunkt: Schriften zu Sprache und Wirklichkeit, Hrsg., eingeleitet und übers. von Vincent C. Müller, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl., 1993.

Reed, David: Figures of thought: mathematics and mathematical texts, London [u.a.]: Routledge, 1995.

Rheinberger, Hans-Jörg: Bemerkungen zur Geschichte der Molekularbiologie, in: Kruse, Gen-Welten:1998, 58-64.

Rheinberger, Hans-Jörg: Experiment, Differenz, Schrift: zur Geschichte epistemischer Dinge - Marburg an der Lahn:Basiliken-Presse, 1992.

Rheinberger, Hans-Jörg: Toward a History of Epistemic Things. Synthesizing Proteins in the Test Tube, Stanford:University Press 1997.

Rhodes, Richard: Die Atombombe oder Die Geschichte des 8. Schöpfungstages <The Making of the Atom Bomb, New York:Simon & Schuster 1986>, Nördlingen:Greno 1988.

Schweber, Silvan: A Historical Perspective on the Rise of the Standard Model, in: Hoddeson u.a.:1997, 645-74.

Serres, Michel (Hg): Elemente einer Geschichte der Wissenschaften <Éléments d'histoire des sciences, Paris 1989>, Frankfurt:Suhrkamp 1998.

Weinberg, Steven: Changing Attitudes and the Standard Model, in: Hoddeson, Rise:1997, 36-44.

Weinert, Friedel: Laws of nature: essays on the philosophical, scientific and historical dimensions / ed. by Friedel Weinert. - Berlin [u.a.]: de Gruyter, 1995.