

**Philosophisches Seminar der Universität Hamburg**  
**Prof. Dr. Werner Diederich**  
**Hauptseminar SS 2005: Peter Galison: Einsteins Uhren, Poincarés Karten**

**Seminararbeit**

**Eckehard Seidl**

## **Konventionalismus und Relativitätstheorie**

**Von Lorentz und Poincaré zu Einstein**

## Zusammenfassung

Einsteins Spezielle Relativitätstheorie unterscheidet sich von den vorangehenden Theorien von Lorentz und Poincaré wesentlich physikalisch in der Vereinheitlichung von Mechanik und Elektrodynamik. Demgegenüber sind Gemeinsamkeiten des gesellschaftlichen Umfeldes, der Zeitmessung und des mathematischen Formalismus ebenso wie Unterschiede in Mentalität und Philosophie zweitrangig.

## Inhalt

<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>Probleme der Physik</b>	<b>2</b>
Relativitätsprinzip	2
Zeitmessung	3
Äthertheorie	4
Elektrodynamik	5
<b>Lorentz-Transformation</b>	<b>8</b>
<b>Poincaré</b>	<b>10</b>
Prinzipien der Physik	10
Problem Äther	12
Bleibende Anomalien	14
Konvention oder Theorie	16
<b>Relativität und Dynamik</b>	<b>17</b>
<b>Abbildungen</b>	<b>20</b>
<b>Literatur</b>	<b>20</b>

## Einleitung

Unter dem Titel „Einsteins Uhren, Poincarés Karten. Die Arbeit an der Ordnung der Zeit“ bearbeitet Peter Galison<sup>1</sup> in einem populärwissenschaftlichen Buch ein zentrales Motiv aus der Geschichte der Relativitätstheorie, die Herausarbeitung des richtigen Maßes der Zeit. Speziell in den beiden Unterkapiteln „Ätherische Zeit“ [202-14] und „Eine Dreierkonstellation“ [214-25] werden die wissenschaftlichen Konzepte von Hendrik Lorentz (1853-1928) und Henri Poincaré (1854-1912) behandelt, die der Speziellen Relativitätstheorie von Albert Einstein (1879-1955) [1905] unmittelbar vorausgehen. In einem Zeitraum von 1887<sup>2</sup> bis 1905 finden die wesentlichen wissenschaftlichen Prozesse statt, die den absoluten Raum und die absolute Zeit der Newtonschen Physik durch die relative Raum-Zeit der modernen Physik ersetzen.

Poincaré wird bei Galison zur Hauptfigur der Beschreibung dieser Epoche. Das mechanistische physikalische Weltbild zeigt damals eine Reihe beunruhigender Anomalien. Die Entwicklung kulminiert in der Auseinandersetzung Poincarés mit diesen Anomalien und mit der von Lorentz vorgeschlagenen Lösung. Die Theorie von Lorentz nimmt die Relativitätstheorie Einsteins mathematisch vorweg, beruht aber auf der Äthertheorie, die von Einstein überwunden wird. Um diese merkwürdige Konstellation und ihre wissenschaftstheoretische Einordnung soll es im Folgenden gehen.

Es ist Galisons Verdienst, den Hintergrund von gesellschaftlicher Praxis zu zeigen, auf dem die moderne relativistische Naturwissenschaft erscheint:

In Poincarés Beharren auf der Konventionalität der Zeit klingen Ideen an, in denen wir heute das gemeinsame Gedankengut des Bureau des Longitudes und der Ecole Polytechnique erkennen, eines technischen Universums, in dem Diplomaten, Wissenschaftler und Ingenieure internationale Konventionen benutzten, um die kollidierenden imperialen Netzwerke des Raumes, der Zeit, der Telegraphie und der Kartographie zu verwalten. Das war auch die Welt Poincarés, ein Selbstverständnis als Wissenschaftler, das sich von dem Einsteins himmelweit unterschied. [193]

Diese Sichtweise konterkariert sich aber selbst, wenn die Beiträge der Protagonisten zur Physik auf ihre individuellen Erfahrungen und Charaktereigenschaften zurückgeführt werden. Gegenüber den Unterschieden der von ihnen entwickelten Physik sind die unterschiedlichen Persönlichkeiten von Lorentz, Poincaré und Einstein nur von untergeordneter Bedeutung. Die Physik von Poincaré und Lorentz war mit der von Einstein nicht vereinbar, auch wenn diese eine Weiterentwicklung jener darstellt, alle sich im selben Umfeld bewegten und sogar dieselben Formeln entwickelten.

---

<sup>1</sup> Galison [2002]. Das Buch wird im Folgenden ohne Autor und Erscheinungsjahr nur mit der Seitenzahl in der Form [#] zitiert.

<sup>2</sup> Waldemar Voigt findet Invarianztransformationen der Elektrodynamik, siehe S. 17.

Es soll nun zuerst ein Eindruck von den damaligen Problemen der Physik vermittelt werden und dann die Lösung vorgestellt werden, die Lorentz mit seiner Elektronentheorie gefunden zu haben glaubte. Es folgen die von Poincaré propagierten leitenden Prinzipien der Physik und die darauf basierende Auseinandersetzung Poincarés mit den verbleibenden physikalischen Problemen. Schließlich werden wissenschaftshistorische und -theoretische Fragen behandelt, die sich im Zusammenhang mit der Darstellung durch Galison stellen.

Die Arbeiten Poincarés zur Physik sind in vier populärwissenschaftlichen Werken [1902, 1904, 1908, 1913] in vielen Sprachen in aller Welt verbreitet und leicht zugänglich. Die wichtigsten Aufsätze von Lorentz und Einstein findet man in Lorentz / Einstein / Minkowski [1923]. Einsteins Spezielle Relativitätstheorie wird im Folgenden als bekannt vorausgesetzt. Als Referenz dazu kann z. B. das kleine Buch von Hubert Goenner [1997] dienen.

## Probleme der Physik

### Relativitätsprinzip

Das Relativitäts*prinzip* unterscheidet sich von der Relativität*stheorie*. Das Relativitätsprinzip ist eine grundlegende Annahme der Physik seit Galilei. Es besagt, dass alle Naturvorgänge in einem gleichförmig bewegten System unabhängig von der Bewegung des Systems ablaufen, also insbesondere genauso wie in einem ruhenden System<sup>3</sup>. Im Inneren eines gleichmäßig dahingleitenden Schiffes z. B. kann man dessen Bewegung auf keine Weise feststellen.

Im Unterschied dazu stellt die Relativitätstheorie von Einstein dar, wie das Relativitätsprinzip in unserer Welt verwirklicht ist, insbesondere bei Geschwindigkeiten, die der Lichtgeschwindigkeit nahekommen. Die sogenannte Spezielle Relativitätstheorie beschreibt dabei Systeme in gleichförmiger Bewegung, so wie es das Relativitätsprinzip vorsieht. Die sogenannte Allgemeine Relativitätstheorie verallgemeinert dies auf Aussagen auch über beschleunigte Bewegungen [Einstein 1916, 83].

Bis zu Einstein war nicht klar, dass das Relativitätsprinzip im Widerspruch zu unseren Vorstellungen über die Struktur von Raum und Zeit stehen kann. Zu Zeiten von Poincaré und Lorentz zeigten sich Probleme zwischen Mechanik und Elektrodynamik, die darauf zurückzuführen sind. In seiner berühmten Arbeit macht Einstein [1905] diese Zusammenhänge u. a. durch ein Gedankenexperiment deutlich, das beschreibt, was geschieht, wenn man eine ruhende und eine bewegte Uhr miteinander vergleicht.

---

<sup>3</sup> Wobei heute der Begriff „ruhendes System“ nur relativ eine Bedeutung hat, also das eigene System meint oder ein System, das sich relativ zum eigenen System nicht bewegt.

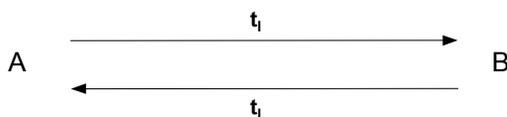
## Zeitmessung

Dieses Gedankenexperiment steht im Hintergrund von Galisons Buch. Er spricht von Zeitsynchronisation oder Zeitkoordination und sucht das Thema auf in Technik und Wissenschaft der Zeit gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Insbesondere sieht er diese Frage als Bindeglied zwischen Poincaré und Einstein an und ihre Beantwortung als Schlüssel zur Relativitätstheorie. Galison stellt Vermutungen darüber an, warum nicht schon Poincaré zu der Antwort vordringen konnte, und sieht die Gründe in dessen Mentalität und den Grundsätzen seiner wissenschaftlichen Schule.

Das ist aber eine recht problematische Argumentation. Gemeinsamkeiten könnten nur dann nach einem Übergang verlangen, wenn es außer ihnen nichts wesentlich Unterschiedliches gäbe. Davon gibt es aber genug, vor allem in der Tatsache der von Poincaré benötigten und von Einstein beseitigten Äthertheorie. Schon bei der Zeitmessung selbst ist es fraglich, ob hier eine Gemeinsamkeit vorliegt. In der Einsteinschen Relativitätstheorie gibt es nämlich zwischen den relativ zueinander bewegten Systemen nichts, was den Begriff Zeitsynchronisation verdient.

Worin besteht das Problem? Sollen zwei Uhren gleich gehen, so müssen sie nicht nur zu einem Zeitpunkt dieselbe Zeit anzeigen, sondern sie müssen dies auch in Zukunft tun, also gleich schnell gehen. Befinden sich die beiden Uhren am gleichen Ort, kann man dies mit zwei Zeitvergleichen klären. Beim ersten Vergleich stellt man eine etwaige Differenz fest, beim zweiten Vergleich nach einiger Zeit stellt man fest, ob diese Differenz gleich geblieben ist.

Befinden sich die Uhren an voneinander entfernten Orten A und B, kann man Zeitvergleiche mittels eines Signals vornehmen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass das Signal eine Laufzeit  $t_1$  hat. Die Laufzeit wird durch Reflexion des Signals korrigierbar:



Schema 1: Zeitvergleich mit Signallaufzeit

Das Signal startet zur Zeit  $t_A$  bei A, wird zur Zeit  $t_B$  bei B reflektiert und kommt zur Zeit  $t_A'$  bei A zurück, so dass sich für die richtige Einstellung  $t_B$  der Uhr bei B ergibt:

$$\begin{aligned}t_B &= t_A + t_1 \\t_A' &= t_B + t_1 \\t_B &= \frac{1}{2} (t_A + t_A')\end{aligned}$$

Die Laufzeit  $t_1$  muss also nicht bekannt sein, es reicht, dass sie bei Hin- und Rückweg gleich ist<sup>4</sup>. Wie Galison argumentiert, war Poincaré und anderen

---

<sup>4</sup> Galison [289-91] hat dies wohl nicht vollständig verstanden, wenn er meint, dass das Verfahren auch für die Zeitzeichensendung mittels Funkwellen gelte. Dabei fehlt

→

dieses Verfahren aus der Synchronisation von Uhren mittels telegrafischer Zeitzeichen bekannt, die zur Bestimmung von geografischen Längen vorgenommen wurde.

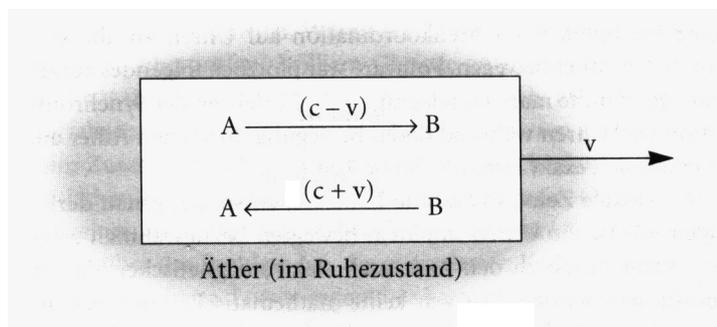
Es sieht so aus, als könne man auf diese Weise immer zwei Uhren miteinander synchronisieren. Erstaunlicherweise ist das nicht richtig, wenn sich die Uhren relativ zueinander bewegen. Die Klärung dieser Tatsache ist einer der Inhalte der Speziellen Relativitätstheorie von Einstein.

Wie gleich beschrieben werden soll, hatten Poincaré, Lorentz und andere Mathematiker und Physiker vor Einstein jedoch schon ein Problem, wenn A und B zwar relativ zueinander in Ruhe waren, sich jedoch gemeinsam bewegten. Das aber war nicht akzeptabel, denn nach dem Relativitätsprinzip ist die gemeinsame Bewegung unerheblich und zwischen zwei ruhenden Uhren muss Gleichlauf hergestellt werden können, sonst kann man keine Physik betreiben. Dieses Problem resultierte, wie wir sehen werden, aus der mechanistischen physikalischen Grundüberzeugung der damaligen Zeit, die in der Äthertheorie zum Ausdruck kam.

## Äthertheorie

Nach damaliger Vorstellung musste jedes Signal entweder selbst ein materielles Teilchen sein oder sich als Welle in einem materiellen Träger fortpflanzen. Im Falle des Lichtes war die Welleneigenschaft durch das Auftreten von Interferenzen nachgewiesen. Als materieller Träger wurde der Äther postuliert.

Galison [212 und Anm. 64] zeigt, was dies für die Synchronisation von Uhren bedeuten würde<sup>5</sup>:



### Schema 2: Signale im Äther

$c$  Lichtgeschwindigkeit im Äther

$v$  Geschwindigkeit des Systems gegenüber dem Äther

Es ergäbe sich dann Gleichzeitigkeit in A und B (Entfernung  $AB = x$ ) für<sup>6</sup>

---

jedoch die Reflexion des Signals, so dass nur eine Kontrolle des gleich schnellen Laufes der Uhren stattfinden kann. Die richtige Grundstellung der Zieluhr, also die Korrektur der Laufzeit der Funkwelle, muss dann mit anderen Mitteln, z. B. durch astronomische Beobachtungen, vorgenommen werden.

<sup>5</sup> Die Beschriftung in der Zeichnung wurde von mir korrigiert.

$$t_B^* \approx t_B - \frac{vx}{c^2}$$

D. h. um die „wahre Gleichzeitigkeit“  $t_B^* = \frac{1}{2}(t_A + t_A')$  zu erreichen, muss die Signalkunft  $t_B$  um  $vx/c^2$  korrigiert werden.

Die Erläuterung, die Galison dazu gibt, ist problematisch, denn es kann keine Rede davon sein, dass man „den Effekt des Ätherwindes berücksichtigen“ müsse. Dazu müsste man die Geschwindigkeit  $v$  des Systems im Äther kennen. Unser in sich ruhendes System hätte dann eine absolute Bewegung, die sich empirisch durch die Synchronisation von Uhren in verschiedenen Richtungen feststellen ließe. Damit wäre das Relativitätsprinzip verletzt. Im Gegenteil, das Problem besteht gerade darin, dass diese Vorstellung vom Äther eine Synchronisation von relativ ruhenden Uhren unmöglich machen würde. Je nach ihrer Lage zum Äther müssten sie verschieden gestellt werden.

Glücklicherweise konnte das im Schema gezeigte Verhalten empirisch nicht bestätigt werden. Die Experimente von Michelson – siehe die Darstellung Galisons [208 und Abb. 4.5] – zeigten, dass die Geschwindigkeit des Lichtes in jeder beliebigen Richtung weder  $c+v$  noch  $c-v$ , sondern immer gleich  $c$  war. Diese Konstanz der Lichtgeschwindigkeit musste in ihrer Sichtweise ein Resultat der Eigenschaften des Äthers sein. Lorentz [1895] stellte deshalb die Theorie auf, dass sich die Länge von Objekten verändert, die sich durch den Äther bewegen. Dadurch wird der Einfluss des Äthers auf die Signalgeschwindigkeit kompensiert, die empirische Lichtgeschwindigkeit ist in allen Richtungen unabhängig vom Äther gleich  $c$  und es ergibt sich schlicht wie vorher  $t_B = \frac{1}{2}(t_A + t_A')$ .

Dabei bleibt es aber nicht. Die konsequente weitere Verfolgung seiner Überlegungen führt Lorentz zu Veränderungen, die man bemerken kann. Der wesentliche Bereich der Probleme der damaligen Physik lag nämlich nicht in der Zeitmessung, sondern in der Elektrodynamik.

## Elektrodynamik

Poincaré [1904, 151-2] sieht dieses Problemfeld sehr deutlich:

Vor allem handelt es sich darum, eine befriedigende Theorie der Elektrodynamik der sich bewegenden Körper auszubilden. Hier drängen sich, wie ich schon genügend gezeigt habe, die Schwierigkeiten hauptsächlich zusammen; so sehr man auch Hypothesen anhäuft, man kann nicht allen Prinzipien gleichzeitig genügen.

Richtig betrachtet sind schon die empirischen Untersuchungen im Zusammenhang von Raum und Zeit Experimente über das Verhalten von Licht, also über elektrodynamische Phänomene. Dies war für Lorentz mit seiner Arbeit über „Elektromagnetische Erscheinungen in einem System, das sich mit beliebiger, die des Lichts nicht erreichender Geschwindigkeit bewegt“ [1904] ebenso klar

---

<sup>6</sup> Die genaue Formel lautet  $t_B^* = t_B - \frac{vx}{c^2 - v^2}$ .

wie für Einstein, der die Spezielle Relativitätstheorie unter dem Titel „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ [1905] veröffentlichte.

Einstein [1905, 26] beginnt denn auch diese berühmte Arbeit mit der Darstellung eines Problems der Elektrodynamik:

Daß die Elektrodynamik Maxwells – wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt – in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber – Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt – zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Dass, wie Einstein [1905, 26] sagt,

für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten

müssen, ergab sich auch schon für Lorentz [1895, 3], als er versuchte zu begründen, warum sich die Länge von Körpern, die sich gegenüber dem Äther bewegen, verändern müsse:

So befremdend die Hypothese auch auf den ersten Blick erscheinen mag, man wird dennoch zugeben müssen, daß sie gar nicht so fern liegt, sobald man annimmt, daß auch die Molekularkräfte, ähnlich wie wir es gegenwärtig von den elektrischen und magnetischen Kräften bestimmt behaupten können, durch den Äther vermittelt werden. Ist dem so, so wird die Translation die Wirkung zwischen zwei Molekülen oder Atomen höchstwahrscheinlich in ähnlicher Weise ändern, wie die Anziehung oder Abstoßung zwischen geladenen Teilchen. Da nun die Gestalt und die Dimensionen eines festen Körpers in letzter Instanz durch die Intensität der Molekularwirkungen bedingt werden, so kann dann auch eine Änderung der Dimensionen nicht ausbleiben.

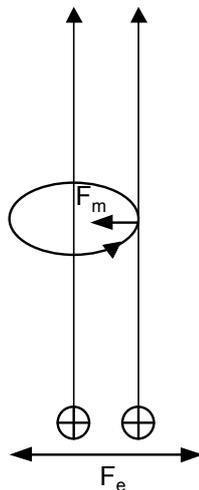
Lorentz konnte sich also nicht auf eine Veränderung der Längen beschränken. Er musste die Elektrodynamik insgesamt unter dem Einfluss des Äthers diskutieren und entwickelte eine umfassende Theorie der Materie, die sogenannte Lorentzsche Elektronentheorie. Galison [206] beschreibt diese:

Es gab in der Welt zwei Arten von Dingen, zum einen elektrische und magnetische Felder (Zustände des Äthers), zum anderen geladene materielle Partikel, die sich durch den Äther bewegten. Felder konnten auf Partikel einwirken und diese ihrerseits Felder erzeugen.

Im Sinne des Relativitätsprinzips durfte sich der Äther dabei in keinem einzigen Phänomen bemerkbar machen. Poincaré [1904, 139] stellt eines der Probleme, die dabei zu lösen waren, wie folgt dar:

Denken wir uns zwei elektrisch geladene Körper; obwohl sie in Ruhe scheinen, sind sie, einer wie der andere, durch die Bewegung der Erde fortgerissen. Eine elektrische Ladung in Bewegung ist, wie Rowland uns lehrt, einem Strom gleichwertig. Diese zwei geladenen Körper wirken also wie zwei parallele Ströme in gleicher Richtung, und diese beiden Ströme müssen sich anziehen. Wenn wir diese Anziehung messen, so messen wir die Geschwindigkeit der Erde, nicht ihre Geschwindigkeit in bezug auf die Sonne oder die Fixsterne, sondern ihre absolute Geschwindigkeit.

Das folgende Schema zeigt, was gemeint ist:



### Schema 3: Phantomkraft

Zwei positiv geladene Objekte bewegen sich durch den Äther. Außer ihrer gegenseitigen Abstoßung  $F_e$  müsste eine anziehende Lorentzkraft  $F_m$  auftreten.

Das würde dem Relativitätsprinzip widersprechen. Nach Lorentz werden deshalb Kräfte quer zur Bewegung durch den Äther vermindert [Poincaré 1904, 142]:

Diese elektrodynamische Anziehung wird also von der elektrostatischen Abstoßung abgezogen, und die gesamte Abstoßung ist geringer, als wenn die beiden Körper in Ruhe wären. Da wir aber diese Abstoßung, um sie zu messen, durch eine andere Kraft ins Gleichgewicht bringen müssen, und alle anderen Kräfte im gleichen Verhältnis vermindert sind, so bemerken wir nichts davon.

Die Reduktion der Kräfte ist eine der Lorentzschen Annahmen, die zur Folge haben, dass Resultate einer Bewegung durch den Äther nicht wahrgenommen werden können, man also ohne Widerspruch zum Prinzip der Relativität an der Vorstellung des Äthers festhalten kann. Allerdings musste Lorentz auch z. B. die Gravitation mit einbeziehen, denn es darf offensichtlich keine Ausnahmen geben.

## Lorentz-Transformation

Es entstand ein ganzes System von Wechselwirkungen mit dem Äther, das Lorentz [1904, 7-8] schließlich nach Diskussionen insbesondere mit Poincaré vorstellte:

Poincaré hat gegen die bisherige Theorie der optischen und elektrischen Erscheinungen bewegter Körper eingewandt, daß zur Erklärung des negativen Ergebnisses Michelsons eine neue Hypothese eingeführt werden mußte, und daß dies jedesmal notwendig werden könne, wenn neue Tatsachen bekannt würden. Sicherlich haftet diesem Aufstellen von besonderen Hypothesen für jedes neue Versuchsergebnis etwas Künstliches an. Befriedigender wäre es, könnte man mit Hilfe gewisser grundlegender Annahmen zeigen, daß viele elektromagnetische Vorgänge streng ... unabhängig von der Bewegung des Systems sind.

Diese „grundlegenden Annahmen“ bilden die später so genannte Lorentz-Transformation, die aus den folgenden Transformationsgleichungen [Lorentz 1904, (4) (5) (30)]<sup>7</sup> besteht:

- Lorentz-Kontraktion:  
Ein bewegtes Objekt schrumpft in der Bewegungsrichtung
- Ortszeit<sup>8</sup>:  
Die Zeit innerhalb des bewegten Systems ist verlangsamt
- Kräfteerduktion:  
Alle zur Bewegung transversalen Kräfte sind vermindert
- Massenzunahme:  
Alle bewegten (trägen) Massen nehmen zu

Die Folge dieser Transformation ist, dass im Inneren eines Systems nicht festgestellt werden kann, ob sich dieses gegenüber dem Äther bewegt. Damit wird unter der Äthertheorie das Prinzip der Relativität gerettet.

Die Lorentz-Transformation entspricht formal der Speziellen Relativitätstheorie. Infolgedessen taucht hier [Lorentz 1904, 17 (30)] sogar schon verdeckt die berühmte Formel  $E = mc^2$  auf. Diese Übereinstimmung hat verschiedentlich Anlass dazu gegeben, Lorentz oder Poincaré als die eigentlichen Entdecker der Relativitätstheorie darzustellen oder wie bei Galison Vermutungen darüber anzustellen, warum sie den angeblich nur noch kleinen Schritt zur Relativitätstheorie nicht vor Einstein gemacht haben. Hierauf soll unten noch näher eingegangen werden.

---

<sup>7</sup> Die Formeln stimmen mit denen Einsteins nicht überein. Das ist für das Folgende aber nicht wesentlich. In einer späteren Anmerkung von 1912 sagt Lorentz [1904, 10] dazu:

Man wird bemerken, daß ich in dieser Abhandlung die Transformationsgleichungen der Einsteinschen Relativitätstheorie nicht ganz erreicht habe. ... Es ist das Verdienst Einsteins, das Relativitätsprinzip zuerst als allgemeines, streng und genau geltendes Gesetz ausgesprochen zu haben.

<sup>8</sup> In Galison [2002] durchgehend mit „lokale Zeit“ bezeichnet.

Warum ergeben sich bei Lorentz die gleichen Formeln wie bei Einstein? Das physikalisch unterschiedliche Problem ist mathematisch gleich: Der Äther bei Lorentz und Poincaré mit der in ihm von A und B unabhängigen Lichtgeschwindigkeit  $c$  vertritt die für alle Systeme gleiche Lichtgeschwindigkeit  $c$  bei Einstein.

Die Übereinstimmung ist aber nur formal und nicht inhaltlich. Lorentz und Poincaré halten ausdrücklich an der Äthervorstellung fest.

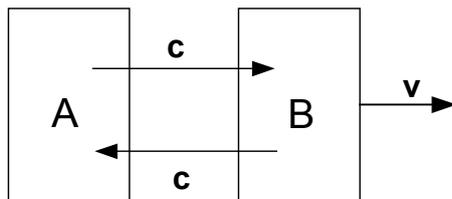
Lorentz [1904, 8] spricht von einer

Kraft, die der Äther auf ein Volumelement eines Elektrons ausübt

und die Transformation der Bewegungsgrößen sei eine Wirkung des Äthers [Lorentz 1904, 16]:

Mit anderen Worten, die Translation [gegenüber dem Äther] *bewirkt* die Deformation.<sup>9</sup>

Einstein dagegen untersucht die Physik an zwei Systemen, die sich relativ zueinander bewegen. Eine Bewegung des Gesamtsystems kommt von vornherein nicht in Betracht, weil sie nicht bemerkbar wäre. Der Äther ist funktionslos und verschwunden.



**Schema 4: Signale zwischen relativ bewegten Systemen**  
(vergl. mit Schema 2, S. 4)

Infolgedessen muss auch die Lorentzsche Ortszeit bei Einstein ihre Bedeutung verändern. Sie wird zur Eigenzeit des bewegten Systems und das ist, anders als man bei dem Wort „Eigenzeit“ vielleicht denken möchte, die Zeit, die aus der Sicht des ersten Systems in dem betrachteten relativ zu diesem bewegten System abläuft. Bei zwei relativ zueinander bewegten Systemen läuft aus der Sicht des einen jeweils die Uhr im anderen langsamer und die Längen im anderen sind verkürzt. Eine Zeit- oder Längensynchronisation zwischen relativ bewegten Systemen ist nicht mehr möglich, über Gleichzeitigkeit, die Ablaufgeschwindigkeit von Uhren oder die Länge von Körpern kann keine Einigung erzielt werden.

Das beruht letztlich darauf, dass in der Lorentz-Transformation die Ortszeit abhängig ist von Ort und Geschwindigkeit des Systems. Raum und Zeit sind miteinander verknüpft und können nicht mehr unabhängig voneinander bestimmt werden.

---

<sup>9</sup> Hervorhebung von Lorentz.

Diese Erscheinungen sind, zusammen mit der grundlegenden Konstanz der Lichtgeschwindigkeit  $c$ , empirisch nachweisbar. Da die Lorentz-Transformation formal mit Einsteins Spezieller Relativitätstheorie übereinstimmt, enthält sie auch schon die richtige Beschreibung der Effekte relativer Bewegungen. Auch für sie gilt z. B. schon die Unmöglichkeit einer Synchronisation relativ zueinander bewegter Uhren. Das heißt, welche konkrete Form das Relativitätsprinzip in unserer Welt annimmt, ist eine empirische Tatsache und Lorentz beendet konsequenterweise seinen Aufsatz mit einer Diskussion von Messergebnissen, die seine Transformationsgleichungen bestätigen sollen.

Das bedeutet, dass die in der Äthertheorie verankerten Grundvorstellungen Poincarés nicht erst durch Einstein, sondern schon durch Lorentz hinfällig geworden sind.

## Poincaré

Poincaré befand sich mit seinen Büchern über aktuelle Probleme der Mathematik und Physik in einem Umfeld großen populärwissenschaftlichen Interesses um die Wende vom 19. in das 20. Jahrhundert. Die aufklärerische Haltung war Programm. Wilhelm Ostwald beschreibt dies im Vorwort zu Poincaré [1913, III]:

... kein Forscher [darf] sich sagen, daß er einen neuen Gedankenkomplex bewältigt hat, bevor er fähig ist, ihn in schlichten Worten dem durchschnittlich naturwissenschaftlich gebildeten Laien klarzumachen.

Sogar die Moral sollte nach dem Vorbild der Wissenschaft gebildet werden [Poincaré 1913, 224-5]:

Der Glaube ist nur für manche unter uns zwingend, die Vernunft aber für alle. An Vernunftgründe also müssen wir uns halten. Damit meine ich aber nicht die der Metaphysiker, deren Gebäude von schillernder Pracht, aber nicht von langer Dauer sind ... Die Naturforschung allein schreitet auf sicherem Boden vorwärts. Diesen Weg ist die Astronomie gegangen und die Physik; ihn geht heute auch die Biologie. Nach gleichen Grundgesetzen wird sich schließlich auch die Moral entwickeln. Ihre Vorschriften werden dann ohne Unterschied der Parteien Geltung haben. Niemand wird gegen sie murren können und man wird ebensowenig daran denken, sich gegen das sittliche Gesetz aufzulehnen, als heute jemand daran denkt, sich gegen den Satz von den drei Senkrechten oder das Gravitationsgesetz aufzulehnen.

Die Grundgesetze der Physik glaubte er bereits angeben zu können.

## Prinzipien der Physik

Poincarés angestrebte Weltsicht betrachtete die Natur als eine Maschine, bei der es für das Verständnis ausreicht, ihre Prinzipien zu kennen [1904, 132]:

Es ist hierzu durchaus nicht nötig, in den Mechanismus dieses Gleichgewichtes einzudringen und zu wissen, wie sich die Kräfte im Innern der Maschine ausgleichen; es genügt, sich zu überzeugen, daß diese Ausgleicheung nicht ausbleiben kann.

In bezug auf das Weltall kann uns das Prinzip von der Erhaltung der Energie den gleichen Dienst leisten. Es ist auch eine Maschine – und eine sehr viel kompliziertere als die der Industrie – deren Teile uns fast alle tief verborgen sind. Indem wir

aber die Bewegungen der Teile, die wir sehen können, beobachten, können wir mit Hilfe dieses Prinzips Schlüsse ziehen, die gültig bleiben, wie auch die Einzelheiten des unsichtbaren Triebwerkes sein mögen.

Poincaré [1904, 133] zählt solche Prinzipien auf:

Das Prinzip der Erhaltung der Energie, oder das Prinzip von Robert Meyer, ist sicherlich das wichtigste; aber es ist nicht das einzige; es gibt andere, aus denen wir den gleichen Nutzen ziehen können:

Das Carnotsche Prinzip oder Prinzip der Abnahme der Energie.

Das Newtonsche Prinzip oder Prinzip der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung.

Das Prinzip der Relativität, nach dem die Gesetze der physikalischen Vorgänge für einen feststehenden Beobachter die gleichen sein sollen, wie für einen in gleichförmiger Translation fortbewegten, so daß wir gar kein Mittel haben oder haben können, zu unterscheiden, ob wir in einer derartigen Bewegung begriffen sind oder nicht.

Das Prinzip der Erhaltung der Masse oder das Lavoisiersche Prinzip.

Ich füge noch das Prinzip der kleinsten Wirkung hinzu.

Dazu kommt die später Konventionalismus<sup>10</sup> genannte Grundüberzeugung Poincarés, dass die Größen der Physik nur Verhältnisse darstellen und deren Maße durch Übereinkunft nach Bequemlichkeit festgelegt werden können [Poincaré 1902, 91-2]:

1. Es gibt keinen absoluten Raum, und wir begreifen nur relative Bewegungen; trotzdem spricht man die mechanischen Tatsachen öfters so aus, als ob es einen absoluten Raum gäbe, auf den man sie beziehen könnte.
2. Es gibt keine absolute Zeit; wenn man sagt, daß zwei Zeiten gleich sind<sup>11</sup>, so ist das eine Behauptung, welche an sich keinen Sinn hat und welche einen solchen nur durch Übereinkommen erhalten kann.
3. Wir haben nicht nur keinerlei direkte Anschauung von der Gleichheit zweier Zeiten, sondern wir haben nicht einmal diejenige von der Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse, welche auf verschiedenen Schauplätzen vor sich gehen ...
4. Endlich ist unsere Euklidische Geometrie selbst nur eine Art von Übereinkommen für unsere Ausdrucksweise ...

Die Naturgesetze seien vor und unabhängig von ihrer Darstellung in der Physik vorhanden. Man könne andere Übereinkommen für ihre Darstellung wählen, wobei die Naturgesetze u. U. eine komplizierte Form annehmen würden. Wir wählten die Konventionen aber so, dass die Darstellung möglichst bequem für unsere Berechnungen werde [1904, 43]:

---

<sup>10</sup> Genauere Angaben zum Konventionalismus Poincarés, insbesondere zu seiner changierenden Bedeutung in dessen unterschiedlichen Definitionen und Anwendungen, findet man bei Diederich [1974 und 1993].

<sup>11</sup> Poincaré meint: „zwei Zeitabschnitte gleich lang sind“.

Mit anderen Worten, alle diese Regeln, alle diese Definitionen sind nur die Früchte eines unbewußten Opportunismus.

Es seien nur die Prinzipien, nicht die Einzelheiten der Welt sicher erkennbar.

Schon an dieser Stelle ist anzumerken, dass die oben erwähnte Abhängigkeit zwischen Raum und Zeit in der Lorentz-Transformation und der Relativitätstheorie nicht vereinbar ist mit den unabhängigen Prinzipien Poincarés zu Raum und Zeit.

### **Problem Äther**

Die Äthertheorie steht im potentiellen Widerspruch zum Prinzip der Relativität. Könnten wir Bewegungen gegenüber dem Äther feststellen, könnten wir sie nicht mehr nur als relativ zueinander betrachten. Poincaré hält am Äther fest, weil dieser eine mechanistische Auffassung von Naturgesetzen erlaubt. Die Lorentz-Transformation macht ihn unbemerkbar. Damit ist für Poincaré die schwerste Bedrohung seiner Prinzipien auf wunderbare Weise gebannt.

Poincaré [1904, 140] betrachtet z. B. die Ortszeit nach Lorentz, wobei er sich eine Konstellation wie in Schema 2 (S. 4) vorstellt. Die angenommene Geschwindigkeit  $v$  des Systems gegenüber dem Äther und die Entfernung  $x$  der beiden Orte A und B sind konstant. Es gibt keine Relativgeschwindigkeit von A und B. Die beiden Uhren laufen dann nicht verschieden schnell, wie es sich bei relativ zueinander bewegten Uhren ergeben würde, sondern ihre Zeitangabe ist durch den festen Betrag  $vx/c^2$  gegeneinander verschoben. Er weist Lorentz darauf hin [221], dass sich seine Ortszeit<sup>12</sup> ergeben würde, wenn man eine Zeitsynchronisation mit Signalaustausch vornimmt.

Poincaré [1904, 141] stellt ausdrücklich fest, dass dies nicht die „wahre Zeit“ ist und unbemerkbar bleibt:

Die auf diese Weise gerichteten Uhren zeigen also nicht die wahre Zeit; was sie zeigen, könnte man Ortszeit nennen; die eine wird gegen die andere nachgehen. Es liegt aber nichts daran, da wir kein Mittel haben, es zu bemerken.

So glaubt Poincaré also an der Existenz einer „wahren Zeit“ und seiner konventionalistischen Überzeugung festhalten zu können.

Galison [215] schildert diese Episode so, dass Poincaré die Theorie von Lorentz in Richtung auf die Relativitätstheorie verbessert. Fölsing [1993, 200] beschreibt den Vorgang mit völlig anderer Bewertung:

Eine physikalische Interpretation für die Lorentzsche Ortszeit lieferte Poincaré durch die Angabe eines Verfahrens, Uhren durch Lichtsignale zu synchronisieren. Es ist übrigens genau das gleiche Verfahren, das Einstein als ein wesentliches Element beim Aufbau der Relativitätstheorie benutzen wird. Insofern entsteht der Eindruck, als sei Poincaré ganz nahe an die Relativitätstheorie herangekommen. Aber er dachte nie an weiterführende Modifikationen, sondern meinte ebenso wie

---

<sup>12</sup> Poincaré hat dabei eine Arbeit von Lorentz aus dem Jahre 1899 mit einer Näherungsformel für die Ortszeit vor Augen. Das macht für das Argument aber keinen Unterschied, da Poincaré auch später von dieser Sicht nicht abrücken wird.

Lorentz, die auf diese Weise gerichteten Uhren zeigten „nicht die wahre Zeit, sie zeigen, was man ‚lokale Zeit‘ nennen könnte“. So bestätigte Poincaré nachgerade den von ihm selbst analysierten „unbewußten Opportunismus“<sup>13</sup>, indem ihm die potentielle Tragweite seiner Analysen über die Zeit entging und er letztlich im begrifflichen Rahmen der Lorentzschen Theorie verharrte. Deshalb, aber nicht nur deshalb, war es jemand anderem vorbehalten, die Relativitätstheorie zu finden.

In Poincarés Sichtweise wird die Unkenntnis über den Äther gerade zu einer Tugend [Poincaré 1904, 133]:

Die Anwendung dieser fünf oder sechs allgemeinen Prinzipien auf die verschiedenen physikalischen Erscheinungen genügt, um uns das zu lehren, was wir vernünftigerweise davon zu wissen hoffen dürfen. Das bemerkenswerteste Beispiel dieser neuen mathematischen Physik ist unbestreitbar die elektromagnetische Lichttheorie von Maxwell. Was ist der Äther; wie sind seine Moleküle geordnet; ziehen sie sich an oder stoßen sie sich ab? wir wissen nichts von alledem; wir wissen aber, daß dieses Mittel gleichzeitig die optischen und elektrischen Störungen überträgt; wir wissen, daß diese Übertragung nach den allgemeinen Prinzipien der Mechanik vor sich gehen muß, und das genügt uns, um die Gleichungen des elektromagnetischen Feldes aufzustellen.

Wir werden noch sehen, dass man diese genügsame Haltung im Nachhinein als Ausdruck einer tiefen Verunsicherung der Wissenschaft jener Zeit deuten kann, gegen die anzukämpfen Poincaré sich verpflichtet sieht. Er täuscht sich aber, wenn er meint, dass das Ätherproblem gelöst sei. Das scheint nur, solange man nicht alle möglichen Bewegungen von Systemen betrachtet. Die Lorentz-Transformation bringt aber weitere Konsequenzen für Bewegungen mit sich.

Poincaré [1908, 75] sieht, dass der Lorentz-Transformation die Annahme einer Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zugrundeliegt:

Lorentz hätte die Tatsachen auch durch die Annahme erklären können, daß die Lichtgeschwindigkeit in Richtung der Erdbewegung größer sei als in der dazu senkrechten Richtung. Er zog es vor anzunehmen, daß die Lichtgeschwindigkeit in beiden Richtungen die gleiche sei, und daß dafür die Körper in der einen Richtung kleiner werden als in der andern Richtung.

Poincaré [1908, 75] betrachtet also die Lorentz-Transformation vom Standpunkt des Konventionalismus, Lorentz habe eine von zwei gleich möglichen Annahmen gewählt:

In keinem der beiden Fälle kann von absoluter Größe die Rede sein, sondern nur von einem Messen dieser Größe mit Hilfe irgendeines Instrumentes; letzteres kann ein Metermaß sein oder der vom Lichte durchlaufene Weg; wir messen immer nur das Verhältnis der betreffenden Größe zum Instrument; und wenn dieses Verhältnis sich ändert, so haben wir kein Mittel zu erkennen, ob die Größe oder das Instrument sich geändert hat.

Das ist aber nur richtig, solange man die Bewegung eines Systems gegenüber dem Äther betrachtet. Wie aus der Lorentz-Transformation hervorgeht, verändern sich die Längen auch in einem System, das sich relativ zu unserem System bewegt, und diese Veränderung können wir erkennen. Mit Poincaré bedeutet

---

<sup>13</sup> Siehe dazu das Zitat [Poincaré 1904, 43] auf S. 12.

das: Unser Instrument bleibt gleich, die angezeigte Länge ändert sich. Nur so kann die Lorentz-Transformation die Probleme der Elektrodynamik lösen, das ist ihr eigentlicher Inhalt und die Unbemerkbarkeit des Äthers ist nur ein Nebeneffekt.

Das wird von Poincaré nur deshalb nicht gesehen, weil er den entscheidenden Übergang von der Äthertheorie zu einer reinen Betrachtung relativer Bewegungen nicht vollzogen hat, der vom Relativitätsprinzip gefordert ist.

Der Konventionalismus setzt voraus, dass die Größen, mit denen man konventionell umgehen will, nicht voneinander abhängig sind. Wenn Poincaré von einer Konventionalität der Zeit, der Gleichzeitigkeit und des Raumes spricht, so hat dies zur Voraussetzung, dass die Gleichzeitigkeit nicht von Ort und Geschwindigkeit abhängig ist. Wenn aber zwei Ereignisse A und B, wie mit der Lorentz-Transformation und der Relativitätstheorie möglich, je nach relativer Bewegung als A früher als B, A gleichzeitig B oder A später als B erscheinen können, gibt es keine Konvention der Gleichzeitigkeit, die dem entsprechen kann.

Poincaré [1904, 142] meint, dass durch die Lorentzsche Theorie das Relativitätsprinzip gerettet sei:

So wurde das Prinzip der Relativität in der letzten Zeit tapfer verteidigt, aber die Heftigkeit der Verteidigungen selbst beweist, wie ernsthaft der Angriff war.

Darin irrt er sich. Das Relativitätsprinzip ist mit dem Konventionalismus für Raum und Zeit nicht vereinbar und es müsste nach Poincarés eigenen Prinzipien der Konventionalismus sein, der an dieser Stelle weichen muss. Zu viele Probleme bleiben trotz der Lorentzschen Theorie bestehen oder werden sogar durch diese erst hervorgerufen.

### **Bleibende Anomalien**

Poincaré hat insbesondere in seiner berühmten Eröffnungsrede des Kongresses von Kunst und Wissenschaft auf der Weltausstellung in St. Louis 1904 unter dem Titel „Der gegenwärtige Zustand und die Zukunft der mathematischen Physik“<sup>14</sup> eine Bilanz der Physik zur Jahrhundertwende gezogen.

Die Probleme bestehen vor allem darin, dass nicht ersichtlich ist, wie im elektromagnetischen Feld die Größen Masse, Energie und Impuls transportiert oder erhalten werden können:

- Geschwindigkeitsabhängigkeit der scheinbaren Masse  
Prinzip der Erhaltung der Masse verletzt
- Hertzsche Wellen  
Energie und Impuls kann verschwinden:

---

<sup>14</sup> Zitiert nach dem späteren Abdruck als Teil von „Der Wert der Wissenschaft“ [Poincaré 1904].

Wenn alle von dem Erreger ausgehende Energie auf einen Empfänger fällt, so wird dieser sich verhalten, als ob er von einem mechanischen Stoß getroffen worden wäre, der in gewissem Sinne den Ausgleich des Rückstoßes des Erregers darstellt; die Gegenwirkung wäre der Wirkung gleich, aber sie wäre nicht gleichzeitig; der Empfänger wird vorrücken, aber nicht im gleichen Augenblick, wie der Erreger zurückweicht. Wenn die Energie sich endlos ausbreitet, ohne einen Empfänger zu treffen, so wird der Ausgleich nie stattfinden. [Poincaré 1904, 144]

- Elektronenbewegung und „actio = reactio“

Wirkung und Rückwirkung sind aber niemals gleichzeitig:

Das Elektron A hat also das Elektron B aus seiner Lage gebracht; selbst wenn letzteres auf A eine Rückwirkung ausüben sollte, so würde diese Rückwirkung zwar gleich der von A ausgehenden Wirkung sein, aber sie würde niemals gleichzeitig stattfinden, denn das Elektron B kann erst nach einer gewissen Zeit seine Bewegung beginnen, nämlich nach der Zeit, die zur Ausbreitung der Störung nötig ist. ... Im Falle der Kanone ist der Rückstoß die natürliche Folge der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung. Die Kanone erleidet den Rückstoß, weil das Geschöß, auf welches sie gewirkt hat, auf sie selbst zurückwirkt. Aber hier bei den Elektronen verhält sich die Sache anders. Was hier in die Ferne ausgesandt wird, ist nicht ein materielles Geschöß, es ist Energie, und Energie hat keine Masse ... [Poincaré 1908, 171]

Man kann diese Bemerkungen als visionäre Vorausschau auf die Relativitätstheorie verstehen wollen, aber das wäre eine Interpretation aus einer Zukunft, die schon weiß, wie die Sache ausgegangen ist. In Wahrheit drückt Poincaré die Qual darüber aus, dass die schon ziemlich willkürlich erscheinende Lorentz-Transformation nicht ausreicht:

Das Prinzip ist unberührt, aber wozu kann es noch nützen? [Poincaré 1904, 157]

Schon Lorentz geht ihm zu weit, die noch viel weiter gehenden Annahmen von Einstein würde er um so weniger akzeptieren und hat das dann auch später nie getan.

Für uns erscheint es heute durch Vorstellungen wie den Welle-Teilchen-Dualismus selbstverständlich, dass ein Feld Masse, Energie und Impuls tragen kann. Aber das ist ein Ergebnis der physikalischen Forschung des 20. Jahrhunderts. Für Lorentz und Poincaré konnte nur Materie diese Eigenschaften haben und je mehr der Äther sich gezwungenermaßen entmaterialisierte, um so weniger konnte er diese Leistung erbringen.

Einsteins Vorteil bestand darin, dass er im gleichen Jahr 1905 vor der Relativitätstheorie bereits die Quantelung der Strahlungsenergie gefunden hatte. Feldquanten waren ihm von daher als Träger von Energie und Impuls bekannt. Das war ein physikalischer Fortschritt, der weitere physikalische Fortschritte ermöglichte [Fölsing 1993, 253]:

Denn niemand sonst hatte die strukturellen Probleme der Elektrodynamik in so engem Zusammenhange mit der Strahlungstheorie gesehen wie er, und nur er hatte dank der im März 1905 ausformulierten „sehr revolutionären“ Arbeit zum „heuristischen Gesichtspunkt“ der Lichtquanten keine Probleme, auf einen substantiellen Träger der elektromagnetischen Wellen zu verzichten.

Letztlich ist es der konkrete Prozess der Wissenschaft, der einen Entdecker macht und nicht sein Charakter oder seine Philosophie.

## Konvention oder Theorie

Trotzdem bleibt die Intuition, dass der Konventionalismus etwas Richtiges zum Ausdruck bringt, und die Frage, was das ist.

Der Konventionalismus besitzt eine spezifische Janusköpfigkeit, die konventionell bestimmbar Größen werden eben dadurch als unabhängig gesetzt. Diederich [2002, 108] charakterisiert dies wie folgt:

Throughout Poincaré's writings we see both sides or directions of conventionalism at work. Certain principles of mathematics and theoretical physics are said to be conventional because they may be replaced by alternatives. And because there is a freedom of choice we may stick to well-confirmed and entrenched principles and alter other parts of the theory if necessary.

Dies ist offenbar auch der ungefähre Sinn von Einsteins Bemerkung [1921, 8]:

Sub specie aeterni hat Poincaré mit dieser Auffassung nach meiner Meinung Recht.

Nicht die Theorie selbst, sondern nur die Summe von Begriffssystem und Theorie unterliege der Kontrolle der Erfahrung.

Diederich [2002, 118] vermutet, dass Poincaré damit auf der Spur einer Erkenntnis der modernen Wissenschaftstheorie war, nämlich der empirischen Unterbestimmtheit unserer naturwissenschaftlichen Theorien:

... whether our theories in natural science are empirically underdetermined – although classical conventionalists like Poincaré and Duhem couldn't have expressed their ideas that way. And this question of underdetermination is far from trivial ...

Aber dieser Konventionalismus muss nachgeben, wenn die Eigenständigkeit einer konventionell bestimmbar Größe aufgehoben wird, weil sie sich als über ein Gesetz mit einer anderen verbunden erweist, wie es hier mit Zeit und Raum eintritt. Dies wurde, wie seine Schriften zu Lorentz und den Entwicklungen der Physik allgemein zeigen, von Poincaré gesehen. Wenn er trotzdem an seiner Position festhielt, so vermutlich deshalb, weil aus seiner Sicht mehr auf dem Spiel stand: die Aufklärung und eine wissenschaftliche Begründung der Moral.

In einer aufschlussreichen Arbeit beschreibt Philipp Frank [1949, 513-517] diese Situation der Naturwissenschaft im Übergang vom 19. zum 20. Jahrhundert:

In der Blütezeit der mechanistischen Physik hatte man das Gefühl, daß außerhalb ihres Anwendungsgebietes das Reich des Unerforschlichen und des Unverständlichen beginne. Denn „verstehen“ hieß eben „nach Analogie eines Mechanismus darstellen“. ... Da gegen Ende des 19. Jahrhunderts in der Physik und Biologie auch immer mehr Tatsachen bekannt wurden, die man gar nicht hoffen konnte, durch die Gesetze der Mechanik grober Körper darstellen und beherrschen zu können, so wurde das Schlagwort „Ignorabimus“ bald zu dem noch aufregenderen vom „Bankrott der Wissenschaft“. Dieses Gefühl des Versagens des rationalen wissenschaftlichen Denkens wurde noch durch Vorgänge im sozialen Leben besonders genährt. ... Die Männer der neuen Bewegung antworteten auf das Gerede vom Mißerfolg der Wissenschaft so: Man redet von einem „Mißerfolg“, weil man die Ziele der Wissenschaft nicht richtig definiert hat. Was man nicht erreichen konnte und wozu man „ignorabimus – wir werden es niemals wissen –“ sagte, war ein Phantom, ein Hirngespinnst, das mit Wissenschaft nichts zu tun hat. ... So endet das 19. Jahrhundert mit

der Erschütterung des Glaubens, daß die Wissenschaft uns die hinter den Erscheinungen liegende Wirklichkeit enthüllen könne. Dafür taucht der nüchterne Trost des Positivismus auf, daß darin kein Bankrott der Wissenschaft liegt, sondern nur die richtige Bestimmung ihrer Aufgabe. In diesem Zwielficht von Abwertung des Intellekts und Aufwertung der Tat taucht wie ein Silberstreif am Horizont die Hoffnung auf, daß eine größere Schärfe in der logischen Analyse uns ganz neue Formen der auf dem methodisch arbeitenden Intellekt beruhenden Wissenschaft bringen werde. Mit diesem Silberstreif kündigt sich das 20. Jahrhundert an.

Der Konventionalismus Poincarés enthält also das Zugeständnis, dass das Absolute, symbolisiert durch den Äther, nicht erkennbar ist, und erscheint als Verteidigungsposition gegen den Irrationalismus von übergeordneter Bedeutung. Mit der Relativitätstheorie Einsteins wird er abgelöst von der befreienden Erkenntnis, dass dieses Absolute für eine prinzipientreue Beschreibung der Welt gar nicht benötigt wird.

## Relativität und Dynamik

Lassen sich nun noch allgemeinere Schlüsse ziehen? Hierzu sollen im Folgenden noch zwei Meinungen geäußert werden:

- Eine Theorie aufzustellen setzt voraus, dass man sie mindestens billigt. Es wäre eine ahistorische Unterstellung anzunehmen, dass Poincaré diese Theorie hätte aufstellen wollen.
- Forschungsprozesse sind zuerst aus der Forschung selbst zu begründen. Gerade wenn alle Beteiligten über die gleichen Voraussetzungen verfügen, kommt es auf den fachlichen Unterschied an.

Galison betrachtet Poincaré, Einstein und allenfalls noch Lorentz. Diese Auswahl ist im historischen Nachhinein naheliegend und ermöglicht es außerdem, das ihn interessierende verbindende Thema der Zeitsynchronisation in den Mittelpunkt zu stellen. Aus der damaligen Zeit sieht es anders aus. Zunächst ist festzuhalten, dass Lorentz und Poincaré und wohl noch andere das zu lösende Problem an ganz anderer Stelle sahen. Ein Problem, das man nicht hat, kann man aber nicht versäumen zu lösen. Weiterhin ist zu fragen, wer damals noch eine solche Lösung hätte anstreben können.

Wie Fölsing [1993, 250] berichtet, verweist Einstein selbst auf Langevin. Fölsing resumiert:

Und doch darf man skeptisch sein, denn noch 1911, als Langevin längst mit Einsteins Arbeiten vertraut war, gründete er seine Darstellung von Raum und Zeit auf einen Äther, der als aktives Medium die relativistischen Effekte der Längenkontraktion und der Zeitdilatation bewirkt.

Ansonsten wären laut Fölsing [1993, 250] von der mathematischen Seite auch Hilbert und Minkowski in Frage gekommen. Immerhin zeigen uns diese Bemerkungen, dass eine Beschränkung der Diskussion auf Poincaré und Einstein willkürlich ist.

Die Transformation, unter der die Elektrodynamik invariant ist, hatte, wie Lorentz [1904, 10, Anm. 1] feststellt, schon Voigt 1887 in wesentlich allgemein-

gültigerer Form angegeben, ohne dass dieser sie physikalisch deutete. Fölsing [1993, 251] dazu:

Es waren jedoch nur mathematische Folgerungen bar physikalischer Konsequenzen, denn „Äther war das meistverwendete Wort in Voigts Optikvorlesungen“, wie sich Max Born ... erinnerte.

Wenn überhaupt, kann man dann eher Lorentz als Poincaré in Betracht ziehen für die mögliche Entdeckung der Relativitätstheorie. Der entscheidende Punkt ist nämlich nicht die Zeittransformation, darin bestand kein Unterschied zwischen Lorentz-Transformation und Relativitätstheorie, sondern die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit [Einstein 1916, 81]:

Die spezielle Relativitätstheorie weicht ... von der klassischen Mechanik ... allein durch das Postulat von der Konstanz der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit [ab], aus welchem im Verein mit dem ... Relativitätsprinzip die Relativität der Gleichzeitigkeit sowie die Lorentztransformation und die mit dieser verknüpften Gesetze über das Verhalten bewegter starrer Körper und Uhren ... folgen.

Sie ist bereits in den Formeln der Elektrodynamik enthalten und es kommt darauf an, sie hervorzuholen. Das geschieht, indem eine Koordinatentransformation angegeben wird, unter der diese Formeln invariant sind und die gleichzeitig im Grenzfall in die klassische Galilei-Transformation übergeht. Es ist daher eindeutig Lorentz, der das Feld für die Relativitätstheorie bestellt. Poincaré tritt auf als Anreger und Popularisierer für Lorentz, aber auch gleichzeitig als Lobbyist für die klassische mechanische Deutung.

Fölsing [1993, 251] zitiert aus einem Brief Einsteins:

„Dass er diesen Schritt zur speziellen Relativitätstheorie nicht machte“, interpretierte Einstein die Hemmungen des verehrten Lorentz, „lag einfach daran, dass es für ihn psychologisch unmöglich war, auf die Realität des Äthers als eines materiellen Dinges (Trägers des elektromagnetischen Feldes) zu verzichten. Wer diese Zeit miterlebt hat, begreift es.“

Der Hinweis auf die Psychologie erklärt nicht etwa eine Schwäche von Lorentz, sondern die Stärke der herrschenden Physik und den physikalischen Abstand zu der neuen. Es wäre ein Missverständnis, über die Charaktere von Lorentz und Einstein zu diskutieren. Einstein entwickelte eine andere Physik, die mit der herrschenden unvereinbar war. Es sind nicht Begabungen des Entdeckers oder Defizite der anderen, die zur Erklärung einer Entdeckung anzuführen sind, sondern zuallererst die Ergebnisse der Arbeit der betreffenden Wissenschaft. Diese machen dann das Umdenken „psychologisch möglich“.

Weder Lorentz noch Poincaré billigten je die Relativitätstheorie Einsteins. Poincaré [1913, 54-5] hat auch nie einen Anspruch auf die Entdeckung erhoben:

Welche Stellung haben wir nun angesichts der neuen Vorstellungen einzunehmen? Sind wir gezwungen, unsere Schlußfolgerungen umzuformen? Gewiß nicht! Wir haben eine Übereinkunft angenommen, weil sie uns bequem schien, und gesagt, daß nichts uns zwingen könnte, sie aufzugeben. Heute wollen manche Physiker eine neue Übereinkunft annehmen. Nicht, als ob sie dazu gezwungen wären; sie sind der Ansicht, daß diese Übereinkunft bequemer ist; das ist alles. Wer nicht dieser Ansicht ist, kann mit voller Berechtigung bei der alten bleiben, um sich nicht in seinen gewohnten Vorstellungen stören zu lassen. Ich glaube, unter uns gesagt, daß man es noch lange Zeit tun wird.

Deshalb ist es ganz richtig, wenn Voigt als Entdecker der Invarianz gilt, Michelson der Beobachtungstatsachen, Lorentz der Raum-Zeit-Transformation und Einstein der Relativitätstheorie. Einstein [1921, 9 und 10] soll dazu das letzte Wort haben:

Wenn zwei Strecken einmal und irgendwo als gleich befunden sind, so sind sie stets und überall gleich. ... Gehen zwei ideale Uhren irgendwann und irgendwo gleich rasch (wobei sie unmittelbar benachbart sind), so gehen sie stets gleich rasch. ... Die Frage, ob dieses Kontinuum euklidisch oder gemäß dem allgemeinen Riemannschen Schema oder noch anders strukturiert sei, ist nach der hier vertretenen Auffassung eine eigentlich physikalische Frage, die durch die Erfahrung beantwortet werden muß, keine Frage bloßer nach Zweckmäßigkeitsgründen zu wählender Konvention.

## Abbildungen { INHALT Abbildungen }

Zeitvergleich mit Signallaufzeit	3
Signale im Äther	4
Phantomkraft	7
Signale zwischen relativ bewegten Systemen	9

## Literatur { INHALT Literatur }

**Diederich, Werner** [1974]: *Konventionalität in der Physik. Wissenschaftstheoretische Untersuchungen zum Konventionalismus*. Duncker & Humblodt, Berlin 1974.

**Diederich, Werner** [1993]: *Poincarés semantischer Konventionalismus*. Report 14/93 on *Semantical Aspects of Spacetime Theories*. ZiF, Uni Bielefeld.

**Diederich, Werner** [2002]: *The Heritage of Conventionalism*. *Diálogos* 79 (2002), 107-120.

**Einstein, Albert** [1905]: *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. *Ann. d. Phys.* 17 (1905). Nachdr. in: Lorentz / Einstein / Minkowski [1923], S. 26-50.

**Einstein, Albert** [1916]: *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. *Ann. d. Phys.* 49 (1916). Nachdr. in: Lorentz / Einstein / Minkowski [1923], S. 81-124.

**Einstein, Albert** [1921]: *Geometrie und Erfahrung*. Springer Vg., Berlin 1921.

**Fölsing, Albrecht** [1993]: *Albert Einstein. Eine Biographie*. Suhrkamp, Frankfurt/Main 1993.

**Frank, Philipp** [1949]: *Das allgemeine physikalische Weltbild in Einsteins Jugendjahren*. Auszug in: Meyenn [1990], S. 513-7.

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

**Goenner, Hubert** [1997]: *Einsteins Relativitätstheorien. Raum, Zeit, Masse, Gravitation*. C. H. Beck, München 1997. 3. A. 2002.

**Lorentz, Hendrik** [1895]: *Der Interferenzversuch Michelsons*. In: *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*. Leiden 1895, §§ 89-92. Nachdr. in: Lorentz / Einstein / Minkowski [1923], S. 1-5.

**Lorentz, Hendrik** [1904]: *Elektromagnetische Erscheinungen in einem System, das sich mit beliebiger, die des Lichts nicht erreichender Geschwindigkeit bewegt*. *Proc. Acad. Sc. Amsterdam* 6 (1904), 809. Übers. in: Lorentz / Einstein / Minkowski [1923], S. 6-25.

**Lorentz, H. / Einstein, A. / Minkowski, H.** [1923]: *Das Relativitätsprinzip. Eine Sammlung von Abhandlungen.* Nachdruck d. 5. A. v. 1923. Wiss. Buchges., Darmstadt 1958.

**Meyenn, Karl von (Hg.)** [1990]: *Lust an der Erkenntnis: Triumph und Krise der Mechanik. Ein Lesebuch zur Geschichte der Physik.* Piper Vg., München 1990.

**Miller, Arthur I.** [1994]: *Why did Poincaré not formulate Special Relativity in 1905?* In: Greffe u. a. (Hg.): *Henri Poincaré. Wissenschaft und Philosophie.* Akademie Vg., Berlin 2002.

**Poincaré, Henri** [1902]: *Wissenschaft und Hypothese.* 2. A., Teubner Vg., Leipzig 1906. Urspr. 1902.

**Poincaré, Henri** [1904]: *Der Wert der Wissenschaft. (Wissenschaft und Hypothese II).* Teubner Vg., Leipzig 1910. Urspr. 1904.

**Poincaré, Henri** [1908]: *Wissenschaft und Methode.* Neuauflage d. 1. A. d. Teubner Vg. 1914. Xenomos Vg., Berlin 2003. Urspr. 1908.

**Poincaré, Henri** [1913]: *Letzte Gedanken.* Akad. Vg.ges., Leipzig 1913. Urspr. 1913.

Ich danke Herrn Professor Diederich und den Teilnehmern des Seminars für hilfreiche Hinweise und Diskussionen.

---

Datei: Philosophie/Seminararbeiten/Galison/Galison.doc

Version: 1.80

Druckdatum: 13.04.08

Schlüssel: Galison, Lorentz, Poincaré, Einstein, Relativitätstheorie,  
Konventionalismus, Wissenschaftstheorie, Wissenschaftsgeschichte

Kommentar: Herausarbeitung der Unterschiede der Physik zwischen Lorentz,  
Poincaré und Einstein entgegen der Kontinuumssicht Galisons.

© Eckehard Seidl, 2005

---