

Poincaré: Vater der modernen SRT und Einsteins verheimlichte Quelle* seiner berühmten Arbeit

Peter Wolff

www.wolff.ch

13. Februar 2017

Zusammenfassung

Einstein gilt seit bald 100 Jahren als Schöpfer der speziellen Relativitätstheorie (SRT), obwohl man in seiner berühmten SRT-Arbeit von 1905 [5] nichts von Bedeutung findet, was zu dieser Zeit nicht schon bekannt **und** veröffentlicht war; einige neue Anwendungen, wie die Aberration, genügen nicht, um Priorität oder auch nur Unabhängigkeit bei der Formulierung der SRT beanspruchen zu können. Was aber schwerer wiegt, sind die zwei Tatsachen, dass Poincarés zeitgleiche grosse SRT-Arbeit [3] Einsteins Arbeit – gerade auch aus moderner Sicht – weit in den Schatten stellt und dass zudem Einstein in seiner „Herleitung“ der Lorentztransformationen (18) aus der „Vorform“ (1), die er offenbar aus [12] übernahm, vor allem bei Poincaré in [2] abgeschrieben hatte, was meines Wissens bisher niemand öffentlich kritisierte, obwohl es vermutlich einige wissen.

Leitfaden und Motivation seiner Arbeit war – neben der Besprechung von Lorentzens 1904-er Arbeit in [12] – offensichtlich Poincarés berühmter Vortrag vom 24. Sept. 1904 in Saint-Louis in Amerika [1], wie schon Fölsing vermutete (Seite 201 unten in [7]). Das war die erste recht modern anmutende, noch „provisorische“ Vorstellung der neuen Mechanik oder Lorentztheorie bzw. SRT in Prosa; es geht vor allem um 4. Darin steht klar und deutlich die Lösung von Fölsings „gordischem Knoten“ (Seite 201 ganz oben in [7]), den angeblich erst Einstein gelöst habe. Lorentz war im April zuvor bereits der formale Durchbruch zu SRT und relativistischer Mechanik – noch nicht ganz fehlerfrei – gelungen, was Poincaré bei seinem Vortrag aber noch nicht voll verstanden hatte; Lorentzens Arbeit [9] war erst im Juli erschienen. Gegen Vortragsende stellte sich Poincaré die Frage, ob man sich nicht auch (besonders) anstrengen sollte, *„eine befriedigendere Theorie der Elektrodynamik der sich bewegenden Körper zu finden?“* (Seite 319 in [1]). Dazu meinte Einstein einen Beitrag liefern zu können, indem er wohl aus Poincarés Uhrensynchronisation die Lorentztransformationen (18) „herleiten“ und die Invarianz der Maxwellgleichungen unter ihnen beweisen wollte. Dass ihm Poincaré von Lorentz ausgehend – und dies voll anerkennend! – mit dem Invarianzbeweis zugekommen war, erfuhr er offenbar erst aus [2], wo er auch sah, dass seine „Herleitung“ der Lorentztransformationen falsch bzw. unvollständig war, weil in seinem Manuskript so gut wie sicher der Faktor l aus Gleichung (1) in [2] fehlte, womit er noch nicht einmal auf Lorentzens veröffentlichtem Wissensstand von 1899 war.

Im Abschnitt 2 führe ich die Hauptpunkte auf, die Poincarés Vortrag [1] als Leitfaden für Einsteins SRT-Arbeit ausweisen, im Abschnitt 3 die Belege/Hinweise darauf, dass Einstein aus Poincarés SRT-Kurzfassung [2] und aus [12] abgeschrieben hatte, und im Abschnitt 4 gebe ich die inhaltlichen Hauptpunkte an, die kompetenten Physikern sofort zeigen sollten, dass Poincarés grosse SRT-Arbeit [3] Einsteins berühmte Arbeit [5] meilenweit hinter sich liess.

Weiter fand Einstein in Poincarés Vortrag auch die Motivation/Idee zu seiner Arbeit über die „Brownsche Bewegung“ (Seite 103 in [6] und 319 in [1]); durchaus denkbar, dass auch Smoluchowski von Poincarés Vortrag zu seiner Arbeit über die Brownsche Bewegung angeregt wurde, was auch die ungefähre Gleichzeitigkeit der beiden Arbeiten erklären würde. Weil Einstein in Poincarés Vortrag auch seinen Zugang zu $E = mc^2$ fand, kann man zusammenfassend sagen, dass er zu drei seiner Arbeiten von 1905 durch Poincaré angeregt wurde, und bei zweien fand er bei Poincaré auch gleich noch den Lösungsweg; in keiner dieser Arbeiten zitierte er ihn aber.

Stichworte: SRT-Geschichte, Lorentz, Poincaré, Minkowski, Kaufmann, Abraham, Einstein

*Ich gehe hier nur auf die zwei letzten SRT-Artikel Poincarés [1, 2] noch vor Einsteins Arbeit näher ein.

1 Vorwort

1. Vorwort zur Erstversion des Aufsatzes

Dieser kleine Aufsatz ist ein Nebenresultat meiner Untersuchungen im Zusammenhang mit der Neuklassischen Gravitation (NKG), einer neuen Gravitationstheorie, die nicht zuletzt auf einer neuen Längendefinition beruht (Anhang F in [11]). Dass eine neue Längendefinition eventuell zu einem neuen Verständnis der SRT führen könnte, das las ich erstmals bei Poincaré, und der Vergleich von Poincarés mit Einsteins Definition zusammen mit dem mir bekannten Erfolg der Newtonschen Kosmologie wies mir den Weg zur NKG-Längendefinition mittels der überall vorhandenen, lokalen, inhomogenen Schwerefelder; hilfreich war auch, dass man sehen kann, dass Einsteins Definition – obwohl im Rahmen der SRT Poincarés Definition weit unterlegen – bei Anwesenheit von lokalen Schwerefeldern „richtiger“ zu sein scheint, während Poincarés Definition optimal zum Weltpotential der globalen Schwere eines aktual unendlichen und homogen/isotropen Weltalls passt. Im Rahmen der NKG und WPT (Weltpotentialtheorie) beruht die Allgemeingültigkeit des SRT-Formalismus aber nicht mehr auf einer neuen Raumzeitstruktur, sondern „nur“ noch auf der elektrodynamischen Messmethode von Zeiten und Längen (eine solche auch mögliche Interpretation kann man bei Poincaré – anders als bei Einstein – bereits herauslesen), was einerseits bedeutet, dass die Poincaré-Minkowski-Metrik der Raumzeit nur noch eine Schein- oder Rechenmetrik ist und dass sie andererseits nicht ohne weiteres auf die Gravitation angewendet werden kann oder gar muss. Auf all diese Aspekte nehmen wir im Folgenden keinen Bezug; sie sollen dem Leser nur zeigen, warum wir auf den sonst eher stiefmütterlich behandelten Unterschied von Poincarés und Einsteins Längendefinitionen besonderes Gewicht legen. Die erste Version dieses Aufsatzes entstand im Herbst 2015; im Netz findet man immer die aktuellste Version.

2. Vorwort zu erweiterter Version mit Stellungnahme zu Verleumdungen Poincarés

Kürzlich erschien eine Abhandlung [15] zu Voigts „Doppler-Arbeit“ und zum Prioritätsdisput zwischen Lorentz-Poincaré und Einstein, worin zwar Poincarés überlegener mathematischer Formalismus und die seiner Zeit vorauseilenden Züge seines Zuganges zur SRT anerkannt werden, aber andererseits Einsteins Priorität beim Formulieren der SRT trotzdem – mit nachweislich grob falschen Fakten! – verteidigt wird; das entspricht einem heute weit verbreiteten Irrglauben über die Urheberschaft der SRT, dem ich darum an diesem Beispiel entgegenzutreten will:

Schon der Überblick in [15] fordert Widerspruch heraus: Es ist nämlich im Allgemeinen nicht richtig, dass wissenschaftliches Verstehen stetig vorwärts schreitet; das frühe Mittelalter mit der Völkerwanderung ist nicht das einzige drastische Gegenbeispiel. Auch können wir heute alten Arbeiten nicht immer mehr entnehmen, als was alte Autoren selbst sagten, sagen wollten oder auch nur erahnten. Oft ist es sogar genau umgekehrt: Die Autoren von [15] geben (in einer Art unfreiwilligen Humors) am Beispiele Poincarés mit ihrem Traktat ein eindrückliches Beispiel. Voigt – wohl weil nicht sehr bekannt – musste über seine Verbindung zu Minkowski als völlig ungeeigneter Aufhänger herhalten, um den Prioritätsstreit Lorentz/Poincaré-Einstein als sinnlos darstellen zu können. Es war aber schon immer bekannt, dass Voigt aus seiner Ortszeit keine Folgerungen zog; das taten erst Lorentz und Poincaré und ob Lorentz 1895 Voigts Arbeit [16] kannte oder nicht, muss ohne neue Erkenntnisse offen bleiben; es ändert an der Beurteilung von Lorentzens Leistung eh nicht viel. Das ist ganz anders als bei Einstein, der offensichtlich nicht nur Poincarés Vortrag von 1904 in Amerika [1] ohne Zitierung als Leitfaden benützte, sondern zudem aus einer Besprechung von Lorentzens SRT-Arbeit von 1904 [12] und aus Poincarés Kurzfassung [2] seiner SRT-Arbeit von 1905 [3] in zentral wichtigen Punkten abgeschrieben hatte, wie ich in der vorliegenden Arbeit zeige, soweit das in historischen Dingen überhaupt möglich ist.

Den wichtigsten Falschaussagen zur Priorität von SRT-Relativitätsprinzip- und SRT-Zeitdefinition und den weit verbreiteten „Äthermärchen“ trete ich in 4.4 entgegen.

Einige Teile in [15] – z.B. die Seiten 12 - 23 - sind trotzdem recht interessant und lesenswert, auch wenn es darin nicht um verpasste Gelegenheiten geht, sondern um ganz normale Weiterentwicklungen und Vertiefungen von bestehenden Theorien. Die historischen Teile zeugen hingegen von einer seltsamen Mischung aus Unkenntnis, Singulärkenntnissen und Voreingenommenheit, wie der schon fast ideologieverblendete Schlussabsatz (Seite 29) der Schlussfolgerungen; es geht nicht um Eitelkeiten, sondern um Wahrheit und Gerechtigkeit. Und selbst wissenschaftlich ist der Disput äusserst fruchtbar, wenn man z.B. an Poincarés moderne Längendefinition denkt.

2 Einsteins Leitfaden zu seiner berühmten SRT-Arbeit

Einsteins Leitfaden zu seiner berühmten SRT-Arbeit von 1905 war offensichtlich Poincarés berühmter Vortrag in Saint-Louis vom 24. Sept. 1904 [1], den er dort am „Congrès scientifique international des Arts et de la Science“ hielt, wie schon Fölsing vermutete (Seite 201 unten in [7]). Im gleichen Jahr fand in Saint-Louis auch eine Weltausstellung statt. Poincarés etwas gegliederten Vortrag findet man auch wieder im Taschenbüchlein „La Valeur de la Science“ in den Kapiteln 7 bis 9; es wurde am 5. Juni 1905 von Poincaré der französischen Akademie der Wissenschaften überreicht. Es ist zu vermuten, dass zuvor auch noch Sonderdrucke von [1] im Umlauf waren. Alle Zitate – wo immer möglich – übernehme ich aber einer deutschen Neuauflage von „Der Wert der Wissenschaft“ [6] in der Übersetzung von E. Weber, um möglichst keine Französischlesekenntnisse voraussetzen zu müssen.

2.1 7. Kapitel in [6]: Geschichte der mathematischen Physik.

Das ist sozusagen die Einleitung zu Poincarés Vortrag. Der Kernteil handelt über *Die Physik der Prinzipien*, die er kurz nennt, um im nächsten Kapitel ausführlich auf sie einzugehen. Der in unserem Zusammenhang wichtigste Satz der Einleitung lautet:

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 ist mit dem Anfang von Abschnitt 2 von Einsteins Einleitung zu seiner berühmten Arbeit zu vergleichen:

Beispiele ähnlicher Art, ..., führen zu der Vermutung, daß dem Begriff der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben ...

Das ist die einzige Stelle in Einsteins berühmter Arbeit, in der er vom „Prinzip der Relativität“ – der wörtlichen Übersetzung von „principe de la relativité“ aus seinem Leitfaden – spricht; später schreibt er immer Relativitätsprinzip.

Hier weisen wir noch darauf hin, dass Poincarés Formulierung des Relativitätsprinzips offensichtlich allgemeiner ist als Einsteins Formulierung, die – mindestens an dieser Stelle – nur die Gültigkeit für Mechanik und Elektrodynamik verlangt, worauf auch Logunow in [10] hinweist.

2.2 8. Kapitel in [6]: Die gegenwärtige Krisis der mathematischen Physik.

In diesem Kapitel geht Poincaré auf die schon oben aufgeführten Prinzipien näher ein:

1. *Das Carnotsche Prinzip.* Nach grundsätzlichen Bemerkungen zu Maxwell, Boltzmann und Gibbs geht er auf Maxwells Dämon und damit zusammenhängend recht ausführlich auf die Brownschen Bewegungen bzw. auf die Beobachtungen von M. Gouy ein. Den Schlussteil zitiere ich:

Die zu großen Körper, zum Beispiel solche von etwa ein Zehntel Millimeter, werden von allen Seiten von den sich bewegenden Atomen angestoßen, aber sie bewegen sich nicht, weil diese Stöße sehr zahlreich sind, und das Gesetz des Zufalls verlangt, daß sie sich ausgleichen; die kleineren Teilchen erhalten aber zu wenig Stöße, als daß diese Ausgleiche mit Sicherheit vor sich gehen könnte, und werden fortgesetzt hin und her geschaukelt. Hier ist also schon eins unserer Prinzipien in Gefahr.

Damit (und mit seinem „Nachdoppeln“ auf Seite 319 von [1]) dürfte Poincaré sowohl Einstein wie Smoluchowski zu ihren Arbeiten über die Brownsche Bewegung angeregt haben.

2. *Das Prinzip der Relativität.* Schon ziemlich am Anfang erklärt Poincaré Lorentzens bzw. Voigts Ortszeit und die heute fälschlicherweise nach Einstein benannte SRT-Uhrensynchronisation. Bei Einstein findet man das didaktisch verbessert in § 1 seiner Arbeit. Einstein führt dann nur noch (ohne Not) explizit die Zweiweglichtgeschwindigkeit als universelle Konstante ein, und in § 3 versucht er wenig überzeugend aus der Uhrensynchronisation Lorentzens Ortszeit und weiter die Lorentztransformationen herzuleiten, die ihm aber offenbar aus [12] schon bekannt waren, worauf auch Fölsing in [7] auf Seite 214 hinweist (man beachte vor allem die Fussnote 26), aber ohne die Quelle [12] zu nennen; eine mehr inhaltliche Kritik dazu findet man bei Logunow (ab Seite 52 in [10]). Das ist auch genau der Ort, wo Einstein höchstwahrscheinlich bei Poincaré in [2] (teilweise falsch bzw. mit unzulässigen, versehentlichen Auslassungen) abgeschrieben hatte.
3. *Das Newtonsche Prinzip.* Damit meint Poincaré das Gesetz von Actio und Reactio, das innig mit dem Relativitätsprinzip verbunden ist. Diesen Ausführungen konnte Einstein die Idee zur „Herleitung“ der berühmten Gleichung $E = mc^2$ entnehmen; Poincaré schrieb unter anderem:

*Was geschieht nun nach der Theorie [beim Senden mit einer Parabolantenne]? Der Apparat wird zurückweichen, als ob er eine Kanone, und die Energie, die er ausgestrahlt hat, eine Kugel wäre, und dies widerspricht dem **Newtonschen Prinzip**, weil unser Geschoss hier keine Masse hat, es ist keine Materie, es ist Energie.*

Poincaré wagte noch nicht zu folgern, dass Energie mindestens träge Masse zukommt, ja zukommen muss. Diesen Schluss zog wohl erstmals Hasenöhrl explizit 1904 und 1905, wenn auch noch vorsichtig, aber aus einer ganz andern sehr viel schwierigeren, aber wunderschönen Betrachtung. Einstein ging in seiner kleinen Arbeit „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?“ vom Sept. 1905 von Poincarés sehr viel einfacheren Überlegung aus, kannte aber so gut wie sicher auch Hasenöhrls Arbeiten, insbesondere seine kurze Arbeit vom Januar 1905 [19], der man sofort entnehmen kann, dass Hohlraumstrahlung eine scheinbare (träge) Masse zukommt. Poincaré hatte schon in seiner Arbeit „LA THÉORIE DE LORENTZ ET LE PRINCIPE DE RÉACTION“ von 1900, einer Festschrift zu Ehren von Lorentz, die Formel $dm c = \frac{dE}{c}$ bzw. $dm = \frac{dE}{c^2}$ aus obigem Parabolantennenmodell erhalten (siehe [13]), wenn auch aus einer für uns ungewohnten Betrachtung; diese Arbeit hat Einstein in einem im Mai 1906 bei den Annalen eingereichten Aufsatz zur Trägheit der Energie und Schwerpunktbewegung sogar zitiert.

Hier noch eine Randbemerkung: Die weit verbreitete Meinung, dass Masse und Energie wegen $E = mc^2$ äquivalent seien, ist falsch: Masse lässt sich im Allgemeinen keineswegs in Energie umwandeln, denn dem steht die Baryonenerhaltung entgegen, die in unserer üblichen Erfahrungswelt ungefähr der Massenerhaltung der klassischen Physik entspricht.

4. *Das Lavoisiersche Prinzip.* Damit meint Poincaré die Massenerhaltung. In diesem Abschnitt findet man wohl erstmals die neue Mechanik (SRT) in Prosa in erstaunlich modern anmutender Formulierung (Seite 110 unten bis 111 oben):

Aus all diesen Resultaten [vor allem den geschwindigkeitsabhängig gefundenen trägen, longitudinalen und transversalen Massen] würde, wenn sie sich bestätigen, eine ganz neue Methode hervorgehen, die hauptsächlich durch die Tatsache charakterisiert würde, daß keine Geschwindigkeit die des Lichtes übersteigen könnte¹, ebenso wie auch keine Temperatur unter den absoluten Nullpunkt fallen kann. Für einen Beobachter, der selbst in einer ihm unbewußten Bewegung mitgeführt wird, könnte ebenfalls keine scheinbare Geschwindigkeit die des Lichtes übersteigen, und dies wäre ein Widerspruch, wenn man sich nicht daran erinnerte, daß sich dieser Beobachter nicht der gleichen Uhren bedient wie ein feststehender Beobachter, sondern solcher Uhren, die die „Ortszeit“ zeigen.

Vor allem der letzte Satz enthält – mindestens für jeden kompetenten Physiker – in aller nur wünschbaren Deutlichkeit den Geniestreich, mit dem Einstein nach Meinung Fölsings den gordischen Knoten durchschlug, der Einstein seinen Zugang zur SRT ermöglichte (Seite 201 oben

¹Denn die Körper setzen den Ursachen, die ihre Bewegung zu beschleunigen suchen, einen Widerstand entgegen, und dieser Widerstand würde unendlich werden, wenn man sich der Geschwindigkeit des Lichtes näherte.

in [7]), was Fölsing nicht sah oder nicht sehen wollte, obwohl er obigen Abschnitt aus Poincarés Vortrag – allerdings unter Weglassung der Beobachteruhren-Ortszeit-Zuordnung! – auf Seite 188 auch zitiert hatte, und auf Seite 242 scheint Fölsing das sogar ganz klar zu wissen — wurde sein Buch vor der Veröffentlichung vielleicht zensuriert? Einsteins Zugang zur SRT war damit weder unabhängig noch selbständig. Für alle, die obiges Zitat verstehen können, müsste nämlich klar sein: Einsteins grosse Leistung bestand – Fölsings Gedankengang folgend – also nur noch darin, obiges Poincarézitat an einem schönen Maiabend plötzlich klar zu verstehen — und mehr hineinzudeuten, als Poincaré damals und später sagen wollte; dieses Missverstehen dauert zum grossen Schaden der Physik bei der Mehrheit der Physiker leider bis heute an: Die SRT-Raumzeit-Interpretation – auch bei Annahme einer allgemeingültigen, universellen Grenzgeschwindigkeit – ist zwar möglich, aber nicht zwingend; es gibt immerhin einige Arbeiten (von Reichenbach bis Mansouri, Sexl und Selleri) zu dieser Grundsatzfrage, in denen Poincarés Erkenntnis der Willkürlichkeit von SRT-Zeitinterpretation und Uhrensynchronisation (unabhängig oder auch nicht) wiedererkannt und etwas vertieft und konkretisiert wird.

Klarheitshalber weise ich noch darauf hin, dass nicht nur Fölsing im Zuordnen von Lorentzens bzw. Voigts Ortszeit zu Uhrablesungen Einsteins Hauptleistung zu erkennen meinte. Das findet man z.B. auch bei Giulini, der der Sache in [8] ein ganzes Kapitel *“9 Einstein: Zeit ist, was man auf der Uhr abliest“* widmet (ab Seite 26). In der gleichen Arbeit in der Einleitung auf Seite 2 scheint Giulini Einsteins Absage an den Äther aber für noch wichtiger zu halten; ich zitiere:

Die Schwierigkeiten [im Zusammenhang mit dem Äther] schienen unüberwindbar, bis Einstein mit seiner Speziellen Relativitätstheorie den Gordischen Knoten auf eine das physikalische Publikum überraschende Weise zerschlug. Die begriffliche Pointe seiner Lösung ist, daß es zur Beschreibung der Phänomene der Vorstellung des Äthers überhaupt nicht bedarf.

Dass das historisch falsch ist, zeigen wir weiter unten (4.3); auch hierin war Poincaré Einstein zuvorgekommen, und dies in einer Arbeit, die Einstein mit Sicherheit schon länger kannte.

5. *Das Mayersche Prinzip.* Damit ist die Energieerhaltung gemeint. Radium war damals in aller Munde und manch einer fragte sich, ob die scheinbare Unerschöpflichkeit solcher Strahlenquellen ein Hinweis auf eine Verletzung der Energieerhaltung sein könnte. In seiner „ $E = mc^2$ -Arbeit“ spricht auch Einstein die Radiumsalze zur möglichen Theorieüberprüfung an.

2.3 9. Kapitel in [6]: Die Zukunft der mathematischen Physik.

Am Anfang schreibt Poincaré: *„Was bleibt unter so viel Trümmern aufrecht stehen? Das Prinzip der kleinsten Wirkung ist bis jetzt unberührt, und Larmor scheint zu glauben, daß es die andern lange überleben wird; es ist allerdings viel unbestimmter und viel allgemeiner.“* Larmor behielt recht: Es ist bis heute das mehr mathematische Kernprinzip geblieben, so sehr, dass viele darob sehr oft die Physik vergessen. Schliesslich versucht Poincaré zu zeigen, was in der Zeit des Umbruchs Anfang des 20. Jahrhunderts von den mathematischen Physikern getan werden kann und muss:

Sie müssen alle diese neuen Ansichten, die ich soeben flüchtig skizziert habe, der Kritik unterwerfen und kein Prinzip aufgeben, bevor sie einen ehrlichen Versuch gemacht haben, es zu retten. Was sie in dieser Richtung tun können, will ich zu erklären versuchen.

An dieser Stelle (siehe Seite 319 in [1]) unterscheidet sich der Vortrag (ohne jegliche Zwischentitel und Gliederung) von 1904, der Einstein als Leitfaden diente, von der Version mit Zwischentiteln, die in „La Valeur de la Science“ 1905 erschien: In [1] werden zuerst die Reversibilitätsprobleme im Zusammenhang mit dem Prinzip von Carnot und der statistischen Mechanik genannt, aber auch speziell die Beobachtungen von M. Gouy [Brownsche Bewegung]; dies stützt unsere obige Hypothese zusätzlich, wonach Einstein durch [1] zu seiner Arbeit über die Brownsche Bewegung angeregt worden sei. Dieser ganze Abschnitt fehlt in „La Valeur de la Science“, weswegen der erste Satz des nächsten Abschnitts angepasst werden musste; den ursprünglichen Satz aus [1] übersetze ich selbst und setze ihn darum im folgenden Zitat, das der 1904-er Version entspricht, in eckige Klammern:

[Sollten wir uns nicht auch anstrengen, eine befriedigendere Theorie der Elektrodynamik der sich bewegenden Körper zu finden?] *Hier [Da] 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. Bis jetzt ist es nur gelungen, die einen zu retten unter der Bedingung, daß man die anderen opferte; aber noch ist nicht alle Hoffnung verloren, bessere Resultate zu erzielen. Wenn wir die Theorie von Lorentz nehmen, sie nach allen Richtungen umwenden, sie nach und nach abändern, so wird sich leicht [vielleicht] noch alles in Ordnung bringen lassen.*

Poincaré hatte hier die Konsequenzen aus Lorentzens neuester Arbeit [9], in der er die wichtigsten formalen Probleme seiner Theorie – wenn auch noch nicht ganz fehlerfrei – gelöst hatte, noch nicht voll erkannt. Bei den SRT-Kernpunkten, dem Relativitätsprinzip, der Beobachteruhren-Ortszeit-Zuordnung und dem Vorkommen einer universellen Grenzgeschwindigkeit, deren Existenz damals aber auch andere aufgrund von Kaufmanns Versuchen annahmen, war Poincaré aber längst weiter als Lorentz; Lorentz dachte damals noch, dass seine Arbeit für Überlichtgeschwindigkeiten zu erweitern sei, auch sah er seine bzw. Voigts Ortszeit „nur“ als so etwas wie einen Rechenrick an. Einstein nahm sich der von Poincaré gestellten Aufgabe ebenfalls an und sah (s)einen Weg zur SRT unter Benutzung der von Poincaré (!) hier angegebenen Kernpunkte, dem Relativitätsprinzip und der universellen Grenzgeschwindigkeit mit Beobachteruhren-Ortszeit-Zuordnung, (vermeintlich) schon klar vor sich, ohne zu wissen, dass Lorentz das von Poincaré gestellte Problem formal bereits so weit gelöst hatte, dass Poincaré davon ausgehend in den nächsten Monaten die moderne SRT formulieren konnte; Poincaré anerkannte dabei Lorentzens Arbeit nicht nur voll, sondern er las sogar Vieles daraus heraus, was Lorentz damals noch nicht verstanden hatte (und teilweise nie verstehen sollte), weswegen er keine eigenen Prioritätsansprüche stellte und Lorentz als den (alleinigen) Entdecker der SRT ansah. Einstein blieb so nur noch als kleine Anwendung die von Poincaré auch gestellte Aufgabe, die Erklärung der Aberration, in Übereinstimmung mit dem Relativitätsprinzip zu bringen (§ 7 in Einsteins Arbeit). Das sieht zwar nach Pech aus, ist es aber nicht, wenn man bedenkt, dass er damals seine Arbeit nach allem, was man heute weiss, ohnehin nicht erfolgreich hätte abschliessen können, ohne Anleihen bei Poincarés Kurzfassung seiner grossen SRT-Arbeit vom Juli 1905 zu machen, die in der Bibliothek in Bern vermutlich ab dem 11. Juni 1905 auflag, und ohne eine „Vorform“ der Lorentz-Transformationen aus [12] zu benutzen. Damit verlor Einstein aber seine „Unschuld“, worauf wir im nächsten Abschnitt näher eingehen, und im übernächsten Abschnitt zeigen wir unter anderem auf, wo sich Poincarés SRT fundamental von Einsteins SRT unterscheidet und sie damit weit in den Schatten stellt.

3 Einsteins Sündenfall

Einstein scheint in geradezu erstaunlich liederlicher Weise oder in grosser Eile das l aus Poincarés Gleichung (1) in [2] nachträglich in sein eigenes, offenbar schon recht fortgeschrittenes Manuskript eingeflickt zu haben; er nannte l aber $\varphi(v)$: Erstmals erscheint dieses $\varphi(v)$ nämlich auf Seite 899 in [5] als $\varphi(v) \equiv a \neq l = 1$. Auf der nächsten Seite wird es aber plötzlich genau wie Poincarés l benützt, von dem noch zu beweisen ist, dass es eins ist und darum weggelassen werden darf. Dort oder schon weiter vorne, wo jetzt $\varphi(v) = 1$ hergeleitet wird, stand wohl ursprünglich eine falsche, mindestens unzureichende Begründung für $a = \sqrt{1 - (\frac{v}{V})^2}$, was zu Fölsings sehr gut begründeter Vermutung passt, dass beim Umbruch ein oder zwei Absätze mit der Herleitung der (longitudinalen) Längenkontraktion verloren gegangen seien (Seite 212 unten und 213 oben in [7]); a kommt ja als Faktor bei der Längenkontraktion vor. Ganz unnützlich war seine ursprüngliche „Herleitung“ der Längenkontraktion aber nicht, denn sie scheint ihm beim Beweise von $\phi(v) = 1$ geholfen zu haben, wo er deswegen die physikalische Bedeutung von $\phi(v)$ ganz leicht als transversale Längenkontraktion erkennen konnte (Seite 902 in [5]), während dies Reigner fälschlicherweise als Beleg deutete, dass Einstein unabhängig von Poincaré zu seinen Resultaten gekommen sei; Reigner schrieb wörtlich: „Dies ist völlig neu!“ (Seite 15 unten in [18]). Die von uns angenommene ursprünglich falsche Begründung für a erkannte Einstein offenbar erst nach dem Lesen von Poincarés SRT-Kurzfassung. Im Anhang (5.3) findet man Auszüge aus dem ersten Teil von Einsteins berühmter Arbeit, in denen ich die höchst wahrscheinlich eingeflickten Teile rot hervorhebe; im Einzelnen könnten die nachträglich eingefügten Änderungen aber auch etwas anders ausgesehen haben und/oder es könnten auch weitere Teile erst nachträglich eingefügt, abgeändert, verschoben oder gestrichen worden sein; mit Umbruchfehlern hat das aber nichts

zu tun! Klarheitshalber erkläre ich nun noch kurz den Kernpunkt des Plagiatvorwurfs genauer, warum nämlich der in Gleichung (9) von Einstein eingeführte Faktor $a \equiv \varphi(v)$ nicht 1, sondern $\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}$ ist:

Aus (9), (13), (16) und (17) folgen die Gleichungen (18) bei angenommenem $\varphi(v) = 1$, was Einstein weiter hinten ja herleitet, nur für $a = \frac{1}{\beta} = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}$, was ungleich 1 ist. Bei richtigem Einflicken hätte er alle a durch $\varphi(v) a(v)$ ersetzen müssen, was er offenbar übersah, weil ja schon sein a ein gemeinsamer Faktor für alle vier Gleichungen war, aber eben einer, der nicht eins ist. Ein solcher Fehler kann so gut wie sicher nur beim nachträglichen Einflicken von Poincarés l passieren, aber nicht, wenn man von Anfang an weiss, was man tut. Auch Fölsing wurde an dieser Stelle misstrauisch und nahm darum an, dass Einstein die Lorentztransformationen bei seiner „Herleitung“ wenigstens partiell schon gekannt haben müsse (Seite 214 mit Anmerkung 26 in [7]). Und Logunow weist auf Seite 142 in [10] auf die Beiblätter zu den Annalen der Physik hin, speziell auf Heft 4 1905, das wohl Anfang März erschien. Darin gibt es eine kurze Besprechung von Lorentzens Arbeit [9], in der man auf Seite 169 ([12]) eine „Vorversion“ der Lorentztransformationen **ohne** Lorentzens und Poincarés l bzw. Einsteins $\varphi(v)$ findet (Lorentzens eigene Version mit l findet man am Anfang von § 4. auf Seite 812 in [9]):

$$x' = k x, \quad y' = y, \quad z' = z \quad \text{und} \quad t' = \frac{t}{k} - \frac{k w x}{c^2} \quad \text{mit} \quad k^2 = \frac{c^2}{c^2 - w^2} \quad (1)$$

Wenn man x durch $x \pm v t$ ersetzt, wie das Einstein beim Übergang von den Gleichungen (9) (entsprechend obiger Gleichung für t'), (13) (entsprechend obiger Gleichung für x'), (16) und (17) zu (18) explizit tut, erhält man die übliche Form der Lorentztransformationen, wenn man noch beachtet, dass obige w , c und k Einsteins v , V und $\beta = \frac{1}{a}$ entsprechen; Poincaré war diese Umformung in [2] und [3] kein einziges Wort wert. Die obigen Gleichungen (1) hatte Einstein also ganz offensichtlich für seine „Herleitung“ der Lorentztransformationen in heute üblicher Form bis auf Parameterumbenennungen direkt in [12] abgeschrieben, während er Lorentzens eigene Arbeit [9] beim Schreiben seines Manuskriptes nicht kannte. Das erklärt nun zwanglos, warum Einstein erst aus Poincarés Arbeit [2] die Notwendigkeit erkannte, $\varphi(v)$ ($\equiv l$) einführen zu müssen und zu zeigen, dass bei angenommener Gültigkeit der Lorentz-Relativität $\varphi(v) = 1$ sein muss, wie das Poincaré in [2] gruppentheoretisch tat. Darum muss man auch den Gruppenhinweis auf Seite 907 oben (5.3) als ein äusserst starkes Indiz werten, dass Einstein, als er diesen kryptischen Satz schrieb, Poincarés Kurzfassung [2] der grossen SRT-Arbeit [3] vor Augen hatte und sich ihrer bediente, denn Einstein ist zu jener Zeit nicht dafür bekannt, dass er sich für solche mehr mathematischen Aspekte interessierte. Dies belegt ausserdem, dass Einstein das in [12] fehlende l bei Poincaré in [2] und nicht bei Lorentz in [9] nachträglich abschrieb. Weiter bedankte sich Einstein entgegen seiner Gewohnheit ausdrücklich bei Besso, was darauf hinweisen könnte, dass Besso Einstein auf Poincarés Arbeit [2] aufmerksam gemacht hatte.

Selbst die von mir angenommene/vermutete grosse Eile kann man so besser verstehen: Einstein war natürlich klar, dass er täglich mit einer ausführlicheren Version von Poincarés Arbeit [2] rechnen musste und seine eigene Arbeit danach kaum noch veröffentlichungswürdig wäre; damals war noch allgemein bekannt, dass die CR (Comptes rendus) nur Kurzberichte (von maximal 6 Seiten wie auch heute noch) enthalten, und zudem nahm Einstein damals wohl noch an, dass „jedermann“ seinen Leitfaden [1] sofort erkennen würde. Er soll damals ja auch tatsächlich grosse Sorgen gehabt haben, dass seine Arbeit nicht veröffentlicht werden könnte (siehe z.B. Seite 134 in [14]).

4 Poincarés moderne SRT ohne Einsteins Starrstäbe

Der letzte Abschnitt von Einsteins Einleitung in [5] lautet:

Die zu entwickelnde Theorie stützt sich – wie jede andere Elektrodynamik – auf die Kinematik des starren Körpers, da die Aussagen einer jeden Theorie Beziehungen zwischen starren Körpern (Koordinatensystemen), Uhren und elektromagnetischen Prozessen betreffen. Die nicht genügende Berücksichtigung dieses Umstandes ist die Wurzel der Schwierigkeiten, mit denen die Elektrodynamik bewegter Körper gegenwärtig zu kämpfen hat.

Da täuschte sich Einstein, denn in Poincarés „alt-moderner“ SRT misst man Längen nicht mit (idealen) Starrstäben:

4.1 Poincarés moderne Längenmessdefinition von 1905

Poincaré war schon im Juni/Juli 1905 viel moderner als Einstein mit seinen Starrstäben; ich zitiere aus Poincarés grosser SRT-Arbeit [3] (Seite 132 ganz oben):

Comment faisons nous nos mesures? En transportant, les uns sur les autres, des objets regardés comme des solides invariables, répondrait-on d'abord; mais cela n'est plus vrai dans la théorie actuelle, si l'on admet la contraction lorentzienne. Dans cette théorie, deux longueurs égales, ce sont par définition, deux longueurs que la lumière met le même temps à parcourir.

Der entscheidende Schlusssatz noch auf Deutsch:

Zwei in dieser Theorie [SRT] gleiche Längen sind per definitionem zwei Längen, die das Licht in der gleichen Zeit durchläuft.

Konsequenterweise setzte Poincaré darum in seinen theoretischen Rechnungen (schon vor Abschluss seiner 1905-er Arbeiten) $c = 1$, was auch belegt, dass er c als eine universelle Konstante ansah.

Poincarés SRT-Längenmessdefinition von 1905 ist Jahrzehnte später (1983) in die moderne Meterdefinition eingeflossen.

Einstein hielt mindestens bis etwa 1920 an seinen Starrstäben fest, da er [3] damals wohl nicht kannte, mindestens nicht verstand; Leitfaden seiner eigenen SRT-Arbeit war ja – neben der kurzen Besprechung [12] von Lorentzens 1904-er Arbeit mit den Lorentztransformationen ohne l bzw. $\varphi(v)$ (1) – Poincarés Vortrag vom 24. Sept. 1904 in Amerika [1] gewesen, wo man den Kern der modernen SRT erstmals wenigstens schon „in Prosa“ findet.

4.2 Poincarés Einführung der SRT-Raumzeit von 1905

Poincaré befasste sich in der Arbeit [3] auch schon ausführlich mit der Frage, inwieweit eine relativistische Gravitationstheorie die astronomischen Beobachtungen – trotz dem bekannten Laplace-Argument für eine sehr hohe Ausbreitungsgeschwindigkeit der Gravitation ($\gg c$) – richtig wiedergeben könne. In diesem Zusammenhang führte er die SRT-Raumzeit ein, die also ganz klar nicht von Minkowski stammt, die ihm aber den Weg bahnte; Minkowski übernahm von Poincaré sogar das früher sehr bekannte „ict“ (Seite 168 unten in [3]), womit Poincaré die spezielle Lorentztransformation besonders anschaulich auf eine Drehung in der SRT-Raumzeit zurückführen konnte. Damit und mit seiner modernen Längendefinition liess Poincaré Einsteins 1905-er-Arbeit meilenweit hinter sich; in Einsteins 1905-er-Arbeit gibt es bis auf eine oder zwei kleine Anwendungen – wie das Uhrenparadoxon – eigentlich schlicht nichts von Bedeutung, das neben Poincarés Arbeit erwähnenswert wäre. Das alles ist nicht neu, nur wenig bekannt, neu ist nur, dass man heute sogar annehmen muss, dass Einstein nicht nur Poincarés Ideen übernahm, ohne ihn zu zitieren, sondern in einem zentral wichtigen Punkt nicht nur bei ihm, sondern auch aus einer Besprechung von Lorentzens 1904-er Arbeit abgeschrieben hatte (siehe weiter oben).

Bis im Juni 1905 dachte Einstein wohl, dass sein neuer Beitrag der Beweis der vollständigen Invarianz der Maxwellgleichungen unter den von ihm aus der „Vorform“ (1) hergeleiteten Lorentztransformationen (18) mit Poincarés (Beobachteruhren-)Zeitdefinition sein würde; er nahm wohl richtigerweise an, dass niemand seine Quelle 4 – Poincarés Schrift [13] von 1900 kannte er da noch kaum – finden bzw. erkennen und verstehen würde. Lorentzens originale 1904-er Arbeit kannte er offensichtlich zu Beginn seiner Arbeit etwa im April 1905 auch noch nicht, sondern „nur“ die Kurzbesprechung [12] mit Lorentzens „Vorversion“ der Lorentztransformationen. Darum meinte er, keinen Grund zu haben, seine Motivationsquelle [1] zu verstecken: Es muss für ihn eine Riesenüberraschung gewesen sein, dass diese Quelle nicht von „jedermann“ auch ohne Zitierung sofort erkannt wurde; in Bern konnte man sich halt kaum vorstellen, dass irgend jemand in der Welt über Poincarés neueste Veröffentlichungen – wie [1] und [2] – nicht auf dem Laufenden sein sollte oder wollte. Bald darauf wird Einstein auf Poincarés Arbeit [13] gestossen sein, der er „seine“ berühmte Gleichung $E = mc^2$ entnehmen konnte, was ihn offensichtlich veranlasste seine kurze Septemberarbeit zu verfassen.

4.3 Poincarés Äther

Einstein lehnte den Äther vor allem darum strikte ab, weil er vor dem Lesen von Poincarés Vortrag [1] ein früher Vertreter der „Ritz-Relativität“ bzw. der Newton-Lichtkorpuskel-Relativität war, was ihm den Weg zu den Photonen erleichterte (siehe letzter Abschnitt Seite 131 in [14]). Poincarés sehr abstrakten Ätherbegriff verstand er wohl nicht, obwohl man ihn im Kapitel „Die mechanische Erklärung der physikalischen Erscheinungen“ in „Wissenschaft und Hypothese“ (Xenomios-Verlag, 2004, ab Seite 170) findet:

Theorien, die sich mit dem Prinzip der kleinsten Wirkung formulieren lassen, lassen nicht nur eine, sondern sogar beliebig viele „Äthererklärungen“ zu. Zwei Zitate dazu:

Seite 173:

Wenn man also dem Prinzip der kleinsten Wirkung nicht genügen kann, so gibt es keine mögliche mechanische Erklärung; wenn man dem Prinzip genügen kann, so gibt es nicht nur eine Erklärung, sondern unendlich viele Erklärungen, ...

Seite 174 unten:

Wie soll man unter allen diesen möglichen Erklärungen eine Wahl treffen, für die wir in den Experimenten keinen Anhalt finden? Es wird vielleicht der Tag kommen, an dem die Physiker diesen für die positiven Methoden unzugänglichen Fragen kein Interesse mehr schenken und sie den Metaphysikern überlassen. Dieser Tag [1902] ist noch nicht gekommen [diese Gedanken findet man bei Poincaré immer wieder, zuletzt in London 1912]; der Mensch gesteht nicht so leicht ein, daß er den Grund der Dinge niemals erkennen kann. Unsere Wahl kann also nur von Betrachtungen geleitet werden, bei denen der Anteil persönlicher Neigung und Vorliebe sehr groß ist; ...

Wer immer Poincaré des Äthers wegen kritisieren will, muss diese Aussagen Poincarés widerlegen.

Poincaré hielt den Äther auch immer für ein gutes (und eben nachweislich zulässiges) didaktisches Hilfsmittel, was zu seiner Zeit richtig gewesen sein mag; heute stimmt es sicher nicht mehr.

4.4 Zu den Poincaré-Kritikern, speziell in Bezug auf den Äther

Meines Wissens gibt es keinen einzigen Poincaré-(Äther-)Kritiker, der Poincarés sehr abstrakten Äther, den ich im Abschnitt 4.3 vorgestellt habe, auch nur im Ansatz kennt und versteht. Darum lohnt es sich eigentlich nicht darauf einzugehen. Weil es aber bis heute immer wieder zu völlig unqualifizierten Angriffen bzw. Fehlbeurteilungen kommt (ein besonders erbärmliches Beispiel findet man in Wikipedia), gehe ich am Beispiele einer neu in arXiv erschienenen Abhandlung etwas näher darauf ein:

4.4.1 Äther- und „SRT-Skepsis“-Kritik

Die Autoren von [15] schliessen aus Poincarés Vortrag „Raum und Zeit“ von 1912 in London, dass Poincaré den Äther nie aufgab, wozu, wie wir hier eben sahen, auch keine Notwendigkeit bestand. Sie gehen dann aber noch weiter und zitieren Damour aus ihrer Referenz [130] auf Seite 9 ganz unten bis 10 oben, wonach Poincaré nie an die physikalische Relevanz und konzeptionelle Revolution geglaubt habe, die Einstein ins Zeitkonzept eingebracht habe. Nur weil der Satz zweideutig ist, ist er nicht zwingend falsch, denn niemand wusste besser als Poincaré, dass nicht Einstein das neue „(SRT-)Zeitkonzept“ einführte, egal ob man damit „nur“ die beobachterabhängige Gleichzeitigkeit von 1898, die Beobachteruhren-Ortszeit-Zuordnung von 1900 oder gar die vierdimensionale SRT-Raumzeit von 1905 meint; all dies stammt von Poincaré! Poincaré lehnte nur Einsteins und Minkowskis Überinterpretation ab. Aber die Autoren von [15], Damour und viele andere verstehen Poincarés Ausführungen von 1912 in London darüber auch 100 Jahre später noch nicht einmal im Ansatz. Poincarés Standpunkt zur Beziehung zwischen Geometrie und Physik war auch für Einstein eine harte Nuss gewesen; als er ihn aber endlich verstanden hatte, bewies er einmal mehr sein didaktisches Geschick, auch wenn er dazu Poincarés Standpunkt unzulässig stark überzeichnete (Poincaré war – ausser mit gutem Grund im Zusammenhang mit der SRT! – weit weniger Konventionalist, als Einstein hier – mala fide? – unterstellt); ich zitiere aus „Geometrie und Erfahrung“ [17]:

Damit scheint die ursprüngliche, unmittelbare Beziehung zwischen Geometrie und physikalischer Wirklichkeit zerstört, und man fühlt sich zu folgender allgemeinerer Auffassung hingedrängt, welche Poincarés Standpunkt charakterisiert. Die Geometrie (G) sagt nichts über das Verhalten der wirklichen Dinge aus, sondern nur die Geometrie zusammen mit dem Inbegriff (P) der physikalischen Gesetze. Symbolisch können wir sagen, dass nur die Summe (G)+(P) der Kontrolle der Erfahrung unterliegt. Es kann also (G) willkürlich gewählt werden, ebenso Teile von (P); all diese Gesetze sind Konventionen. Es ist zur Vermeidung von Widersprüchen nur nötig, den Rest von (P) so zu wählen, dass (G) und das totale (P) zusammen den Erfahrungen gerecht wird.

Einstein stimmte dem „sub specie aeterni“, also wohl leicht knurrend, zu; einflussreiche Zeitgenossen Poincarés und Einsteins hatten Poincaré – ganz im Gegensatz zu vielen heutigen Lesern – vermutlich schon vorher sehr wohl verstanden und verhinderten – nicht nur darum – wohlbegründet, wie wir in dieser Arbeit gezeigt zu haben meinen, dass Einstein einen Nobelpreis für die SRT erhielt (siehe auch weiter unten).

Die Autoren von [15] urteilen weiter (Seite 26 unten), dass für Poincaré der Äther – obwohl experimentell unbeobachtbar – ein wichtiges konzeptionelles Element geblieben sei; offensichtlich haben sie – nicht nur an dieser Stelle! – Poincaré mit Lorentz verwechselt. Richtig wird der Satz aber, wenn man konzeptionell durch didaktisch ersetzt. In [15] (Seite 27 oben) wird dann berechtigterweise noch darauf hingewiesen, dass man in der modernen Physik durchaus wieder von einem Äther sprechen könne, wenn man an das keineswegs leere Vakuum denke, dass dies aber natürlich ein lorentzinvarianter Äther sei und kaum der, an den Poincaré dachte. Prophet war Poincaré zwar nicht – er sah die Quantenfeldtheorie kaum voraus – aber **lorentzinvariant ist Poincarés Äther zwingend** schon darum, weil er ihn mit dem Prinzip der kleinsten Wirkung begründet, wie wir eben sahen.

Das fundamentale Missverstehen von Poincaré in [15] wird nochmals auf Seite 25 besonders deutlich, wo wörtlich von der „**Lorentz-Poincaré-ätherbasierten Theorie**“ geschrieben wird, was mit Bezug auf Poincaré ganz klar falsch ist. Darum meinen dann die Autoren von [15] an gleicher Stelle auch folgern zu dürfen, dass Lorentz und Poincaré im Gegensatz zu Einstein die SRT als eine abgeleitete, nicht fundamentale Theorie ansahen und darum versuchten, ihr eine allgemeinere Basis zu geben. Einerseits ist dies weder im Zusammenhang mit Prioritäts- noch Verständnisfragen wesentlich, und andererseits gibt es keine physikalischen Theorien, bei denen man sich Fragen nach ihrer Herleitbarkeit aus fundamentalen Prinzipien nicht stellen dürfte. Trotzdem gehe ich darauf etwas näher ein:

Richtig ist, dass Poincaré mit der SRT nicht ganz glücklich war; aber mit dem Äther hatte das – anders als bei Lorentz – gar nichts zu tun. Er hoffte aber wohl auf eine kopernikanische (historisch richtiger: aristarchsche) Wende, schrieb er doch unmittelbar nach seiner **revolutionär neuen SRT-Längendefinition** auf Seite 132 ganz oben in [3]):

Peut-être suffirait-il de renoncer à cette définition, pour que la théorie de LORENTZ fût aussi complètement bouleversée que l'a été le système de PTOLÉMÉE par l'intervention de COPERNIC. Si cela arrive un jour, cela ne prouvera pas que l'effort fait par LORENTZ ait été inutile; car PTOLÉMÉE, quoi qu'on pense, n'a pas été inutile à COPERNIC.

Ich übersetze:

Vielleicht genügte es, diese Definition aufzugeben und die LORENTZ-Theorie stürzte ebenso vollständig ein wie das PTOLEMÄISCHE System beim Eingreifen von KOPERNIKUS. Wenn das einst geschieht, beweist dies nicht, dass LORENTZENS Einsatz unnütz war; denn PTOLEMÄUS, was man auch denkt, war für KOPERNIKUS nicht unnütz.

Keine einzelne Stelle zeigt vermutlich den Unterschied im Denken von Lorentz und Poincaré deutlicher als diese: Einerseits sind zwar beide mit der SRT nicht wirklich zufrieden, aber Lorentz sucht sozusagen einen (noch) „im Hintergrund verborgenen“, möglichst realen Äther, während Poincaré eher meint, dass man die SRT nur noch nicht „aus dem richtigen Blickwinkel“ betrachte. Ich denke, dass beide mit ihrem Unbehagen bis zu einem gewissen Grade recht hatten:

Schon im Rahmen der ART-Standardkosmologie gibt es mit der Friedmannzeit wieder eine absolute Zeit, der aber nach ART keine grundsätzliche Bedeutung zukommt, und die Hintergrundstrahlung

zeichnet ganz physikalisch ein Absolutsystem aus. Und sollte sich meine Neuklassische Gravitation (NKG) [11] im Kern als etwa richtig erweisen, wäre auch ein erster Schritt in Poincarés Sinne geschafft. Dass es Poincaré nicht gelang, diesen neuen Blickwinkel zu finden, könnte ein Grund gewesen sein, dass er sich mit der SRT später – mindestens für Aussenstehende erkennbar – nie mehr ernsthaft befasste. Noch wichtiger dürfte aber der Umstand gewesen sein, dass es ihm nicht gelang, eine relativistische Gravitationstheorie zu finden, mit der sich die Perihelverschiebung des Merkur richtig berechnen lässt; aus Sicht der NKG hängt dies mit Poincarés SRT-Längendefinition zusammen, die in lokalen und „grosslokalen“ Schwerfeldern im Allgemeinen eine Raumzeitkrümmung vorgaukelt, und zwar dergestalt, dass sich in statischen, zentralsymmetrischen Schwerfeldern gerade die „NKG-Schwarzschildmetrik“ im Sinne einer Schein- oder Rechenmetrik ergibt (siehe Anhang F.4 in [11]).

4.4.2 Nicht ätherbezogene Pseudokritik

In [15] wird im Zusammenhang mit Voigts Arbeit zum Dopplereffekt [16] richtigerweise darauf hingewiesen, dass man daraus **im Nachhinein** zwar schon einen Teil der SRT, insbesondere die Lorentztransformationen, herauslesen könne, obwohl das der Autor, als er die Arbeit schrieb, noch nicht konnte und tat; Voigts Arbeit könnte aber Lorentz als Ausgangspunkt für seine Arbeiten von 1895 gedient haben, ohne dass dies seine eigenständige Leistung wesentlich tangieren würde. In Analogie dazu wollen nun die Autoren von [15] unterstellen, dass es sich mit Poincarés Arbeiten in Relation zu Einsteins berühmter Arbeit ähnlich verhalten habe, und in [18] versteigt sich Reignier, der in [15] zitiert wird, sogar zur unverschämten Unterstellung, dass Poincarés Arbeiten ohne Einfluss auf die Entwicklung der SRT gewesen seien¹; ich betone, dass dies eine Unverschämtheit ist, selbst dann, wenn Reignier nicht erkannt haben sollte, dass Einstein **sämtliche** (!) wesentlichen Ideen – insbesondere auch das (SRT-)Relativitätsprinzip! – offensichtlich von Poincaré übernommen hatte, denn dass er mindestens die Gelegenheit dazu hatte, war schon immer klar, und ebenso klar ist, dass Minkowski von Poincarés grosser SRT-Arbeit [3] ausging; sogar das früher sehr bekannte ict hatte er von dort übernommen! — Absurd, wenn jemand denkt, dass Minkowski das alles unabhängig gefunden habe, unabhängig kam er nur auf die überzogene Interpretation, dass die SRT-Raumzeit nicht nur eine mögliche Folgerung aus den damals bekannten Beobachtungsfakten sei, wie das Poincaré noch klar sah und was von Reichenbach, Mansouri, Selleri u.a. (unabhängig oder auch nicht) schliesslich wiederentdeckt wurde, sondern eine zwingende Folge. Dass das Fussvolk von all dem nichts merkte und schon genug Mühe hatte, Einsteins letztlich unzulässig vereinfachte, aber didaktisch dadurch stark verbesserte SRT-Einführung halbwegs zu verstehen, ändert nichts an den historischen Fakten.

5 Wertung

Die grosse Frage bleibt: Wie konnte es dazu kommen, dass die Physiker, ja die Menschen ganz generell – auch die, die von „seinen“ Theorien schlicht keine Ahnung haben! – Einstein bis heute zu den grössten Geistern der Wissenschaftsgeschichte zählen (die ART samt Newton ist – anders als die SRT – auf kosmischen Skalen durch die MONDsche Galaxiendynamik längst mit grosser Gewissheit falsifiziert!). Eine definitive Erklärung dafür wird man wohl nicht finden können, aber einige Spekulationen, über die sich die Leser dann selber ihre Gedanken machen können, müssen erlaubt sein:

5.1 Wichtige Fakten

1. **Die spezielle Relativitätstheorie (SRT)** ist physikalisch bis heute sehr schwer verständlich, ich würde sogar sagen unverstanden, und die erste echt seriöse und geradezu moderne mathematische Formulierung von Poincaré in [3] überforderte die damaligen und überfordert wohl auch noch viele heutige Physiker, obwohl die Mathematik allein in didaktisch gut aufbereiteter Form sehr einfach ist.

¹Reignier schreibt in den Schlussfolgerungen auf Seite 26 in [18]: *“Was wäre geschehen, wenn Poincarés Artikel von 1905 nicht existierten? Die Antwort ergibt sich sofort, weil diese Artikel fast vergessen gingen und die spätere Entwicklung der Physik nicht wirklich beeinflussten!”*

2. Die erste für damalige Fussvolkphysiker leicht verständliche Einführung in die SRT war Einsteins berühmte SRT-Arbeit von 1905. Dass er abgeschrieben hatte, dürfte niemand gemerkt haben; niemand liest alle Veröffentlichungen und kann dann das Gelesene auch noch im Gedächtnis behalten. Dass aber Poincaré zeitgleich eine der einsteinschen SRT-Version weit überlegene Version eingereicht hatte, merkten sicher viele von Planck bis Minkowski, die beide davon profitierten; dass Einstein aus der am 11. Juni 1905 in den CR erschienen Kurzfassung abgeschrieben hatte, dürften einige auch schon damals geahnt haben, aber gedacht haben, dass sich Poincaré doch selbst wehren solle.
3. Den Nobelpreis 1921 erhielt Einstein 1922 nicht für die SRT, sondern für den Photoeffekt.
4. Eine erweiterte Fassung des Festvortrages „Geometrie und Erfahrung“ [17], den Einstein an der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27. Januar 1921 gehalten hatte, erschien noch 1921 bei Springer. Darin gab Einstein „sub specie aeterni“, also wohl leicht „knurrend“, Poincarés Auffassung zu diesen Fragen recht. Vermutlich sollte dieses Einlenken die Vergabe des Nobelpreises an ihn erleichtern oder gar erst ermöglichen.
5. Zur Zeit der Nobelpreisvergabe 1922 war Einstein auf einer Japanreise, vermutlich nicht zufällig; er hätte in seiner Nobelpreisrede ja nicht über die Relativitätstheorie sprechen dürfen.
6. Seit Hiroshima wird die SRT mit Macht in Verbindung gebracht, weil selbst manche Physiker in „ $E = mc^2$ “ fälschlicherweise eine Voraussetzung für die Atombombenentwicklung sehen.

5.2 Politische, speziell nationalistische Gründe

Eine einzige auch noch so chauvinistische Nation allein kann eine derartige Fehlbeurteilung noch nicht auslösen. Es kamen wohl hintereinander verschiedene Akteure und Motive zum Tragen:

1. In Frankreich bekam Poincaré von den Physikern vermutlich darum keine Unterstützung, weil diese wohl neidisch waren und dachten, Poincaré solle doch bei der Mathematik bleiben, vielleicht auch darum, weil sie die Bedeutung der neuen Mechanik anfänglich gar nicht erkannten.
Näher untersucht werden sollte – falls dies nicht schon geschehen ist (ich kenne die französische Literatur zur SRT nicht gut) – die Rolle Langevins, weil es Hinweise gibt, dass er sich von Poincarés SRT-Arbeiten sozusagen „überrollt“ gefühlt haben könnte, da er sich selbst auch schon recht nah vor dem (SRT-)Ziele gesehen habe.
2. In Deutschland erkannte der einflussreiche Planck die Bedeutung der neuen Theorie aber sofort, und als Patriot und Mitherausgeber der Annalen tat er alles in seiner Macht stehende, um Frankreich diesen Jahrhundertdurchbruch streitig zu machen; allein war er dabei keineswegs, sondern die Göttinger mit Hilbert, Minkowski, Voigt und anderen unterstützten ihn tatkräftig, Minkowski indem er Poincaré in seinem berühmten Vortrag von 1908 nicht einmal zitierte, obwohl er das 1907 noch verschiedentlich tat. Auch Stark unterstützte Einstein damals nach Kräften, indem er ihn bat, in seiner Zeitschrift einen SRT-Überblick zu schreiben.
Minkowski hatte allerdings auch persönliche Gründe, Poincaré 1908 nicht zu zitieren, da zu befürchten war, dass seine eigene Leistung im Zusammenhang mit der vierdimensionalen Formulierung der SRT bei einer Erwähnung Poincarés nur noch als eine kleine, wenn auch wichtige Erweiterung von Poincarés Arbeit angesehen werden könnte; diese Befürchtung wurde wohl von den „Göttingern“ generell geteilt, weshalb Poincaré auch nicht nach Köln eingeladen wurde.
3. Weil sich Einstein – obwohl einer der prominentesten Physiker in Berlin – im ersten Weltkrieg als äusserst deutschkritisch erwies und er Jude war, hatten auch die Ententemächte kein Problem damit, ihn nach Kräften bekannt zu machen; ein schöner Nebeneffekt wird für sie gewesen sein, damit in Deutschland die eher a bis antinationalen Linkskräfte unterstützen zu können.
4. Eddington, ein Militärdienstverweigerer aus religiösen Gründen (er war praktizierender Quäker), wird in Einstein den (vermeintlichen) Pazifisten gesehen haben; Einsteins Haltung zur späteren Atombombenentwicklung und zu ihrem Einsatz war damals nicht vorhersehbar, und seine enge Freundschaft mit dem Terroristen Adler ist selbst heute nur wenig bekannt.

5. Ab etwa 1920 profitierte Einstein von den antisemitisch geprägten Angriffen gegen die „jüdische“ Relativitätstheorie und seine Person.
6. Spätestens ab etwa 1930 profitierte er auch von seinen engen Beziehungen zu den Zionisten.
7. Noch heute gelten Angriffe gegen Einstein geradezu als Sakrileg.

5.3 Hinweise auf eine Gedächtnisschwäche bei Einstein

Einsteins Fehlverhalten im Falle seiner berühmten SRT-Arbeit von 1905 bis ins hohe Alter ist derart schwerwiegend, dass man sich mindestens fragen muss, ob dies allein an seinem sicher recht fragwürdigen Charakter lag oder ob es noch andere Gründe geben könnte. Dass sein Gedächtnis nicht das beste war, räumte er im Vergleich mit seinen Mitstudenten auch selbst ein. Es gibt aber Hinweise, dass er besondere, weit überdurchschnittliche Probleme hatte, gelesene und eigene Gedanken nach einiger Zeit noch richtig auseinanderzuhalten:

- Die oft zitierte Frage, die sich schon der junge Einstein gestellt haben soll, was passiere, wenn man neben einem Lichtstrahl herlaufe, scheint er aus einem Buch (von Föppl?) zu haben, das damals ziemlich bekannt war und das er wohl sicher kannte; leider kann ich die Stelle, woher ich das zu wissen meine (Leserbrief in Spektrum der Wissenschaft?), jetzt nicht wieder finden.
- Einstein schrieb 1955 an Carl Seelig (aus Wiki zitiert):

Es ist zweifellos, dass die spezielle Relativitätstheorie, wenn wir ihre Entwicklung rückschauend betrachten, im Jahre 1905 reif zur Entdeckung war. Lorentz hatte schon erkannt, dass für die Analyse der maxwellschen Gleichungen die später nach ihm benannte Transformation wesentlich sei, und Poincaré hat diese Erkenntnis noch vertieft. Was mich betrifft, so kannte ich nur Lorentz bedeutendes Werk von 1895 La théorie électromagnétique de Maxwell und Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen bewegter Körper, aber nicht Lorentz' spätere Arbeiten, und auch nicht die daran anschließende Untersuchung von Poincaré. In diesem Sinne war meine Arbeit von 1905 selbständig. [...] Was dabei neu war, war die Erkenntnis, dass die Bedeutung der Lorentztransformation über den Zusammenhang mit den maxwellschen Gleichungen hinausging und das Wesen von Raum und Zeit im allgemeinen betraf. Auch war die Einsicht neu, dass die „Lorentz-Invarianz“ eine allgemeine Bedingung sei für jede physikalische Theorie. Das war für mich von besonderer Wichtigkeit, weil ich schon früher erkannt hatte, daß die Maxwellsche Theorie die Mikrostruktur der Strahlung nicht darstelle und deshalb nicht allgemein haltbar sei.

Mit Ausnahme des ersten ist darin jeder einzelne Satz derart offensichtlich und leicht nachweisbar falsch oder mindestens grob irreführend, dass es kaum vorstellbar ist, dass Einstein den an Seelig übermittelten Inhalt damals nicht wenigstens subjektiv ehrlich glaubte. 1907 beim Schreiben seines SRT-Überblickes war das aber sicher noch nicht so, und sein damaliges Verhalten muss allein seinem fragwürdigen Charakter zugeschrieben werden, wie sein doppelzüngiger damaliger Brief an Stark zeigt, in dem er Stark implizit vorgaukelt, keine einzige von Poincarés SRT-Arbeiten zu kennen; er wollte offensichtlich herausfinden, ob er es sich leisten könne, Poincaré in seiner Überblicksarbeit, die er auf Bitte Starks schrieb, gänzlich zu ignorieren. Jeder Hinweis barg nämlich die Gefahr in sich, als Plagiator entlarvt zu werden.

Weiter meine ich mich an ein Einsteinzitat zu erinnern, das ich jetzt aber auch nicht mehr finden kann, das meiner Erinnerung nach sinngemäss etwa folgendermassen lautete: „Schreibt man nur bei einer Quelle ab, nennt man das ein Plagiat, schreibt man aber bei mehreren Quellen ab, nennt man es Wissenschaft.“ Das könnte – wenn es denn etwa so stimmt – ein Hinweis auf ein generell fehlendes Unrechtsbewusstsein Einsteins in solchen Dingen sein.

Literaturverzeichnis

- [1] H. Poincaré, L'État actuel et l'Avenir de la Physique mathématique, Conférence lué le 24 septembre 1904 au Congrès d'Art et des Science de Saint-Louis, Bull. des Sciences Mathématiques, deuxième Série, tomé XXVIII, décembre 1904, pages 302 - 324. Von diesem Vortrag gab es damals wahrscheinlich auch einen Sonderdruck wie im Falle von [3]. Diesen Vortrag findet man auch im Taschenbuch „La Valeur de la Science“ (Kapitel 7 bis 9), das aber erst Mitte 2005 erschien; eine deutsche Neuauflage findet man in [6].
- [2] H. Poincaré, Sur la Dynamique de L'Électron, CR, Band 140, vorgetragen am 5. Juni 1905, erschienen am 11. Juni 1905, Seite 1504-1508; Artikel bzw. schriftliche Fassungen von Akademievorträgen sind in den CR auf 6 Seiten beschränkt. Einstein fügte wohl erst nach dem Lesen dieser Arbeit l aus (1) als $\varphi(v)$ mit dem zentral wichtigen „Gruppenbeweis“ für $\varphi(v) \equiv l = 1$ in seine eigene berühmte SRT-Arbeit von Ende Juni 1905 ein.
- [3] H. Poincaré, Sur la Dynamique de L'Électron, Rendiconti del Circolo matematico di Palermo, Band 21, März 1906, eingegangen im Juli 1905 (irgendwann vor dem 23.), Seite 129-175; 100 Sonderdrucke zur Verteilung erhielt der Autor sofort nach dem Druck Ende Dez. 1905, wie dies bei den Rendiconti üblich war; heute kennt man keine mehr, aber Pais fand wohl einen antiquarisch, der bei Einstein verloren (?) ging [4]. Eine Kurzfassung [2] erschien Anfang Juni 1905 in den damals wöchentlich (!) erscheinenden Comptes rendus (CR).
- [4] Abraham Pais, Raffiniert ist der Herrgott..., Spektrum Akademischer Verlag, 2000, Kapitel 8 „Am Rande der Geschichte“, Abschnitt „Poincaré und Einstein“, Seite 171
- [5] A. Einstein, Zur Elektrodynamik bewegter Körper, Annalen der Physik und Chemie, Band 17, eingereicht am 30. Juni 1905, erschienen am 26. Sept. 1905. $\varphi(v)$ wird auf Seite 899 als $\varphi(v) \equiv a \neq 1$ (!) definiert(/eingeflickt), bevor es auf der nächsten Seite in dazu inkonsistenter Weise erstmals benützt wird, und zwar ganz genau wie Poincarés $l(= 1)$ aus (1) in [2]; am Ende von § 5. findet man auch noch einen für Einstein ganz untypischen „Gruppenhinweis“.
- [6] Henri Poincaré, Der Wert der Wissenschaft, Xenomos-Verlag, Berlin, 2003, unveränderte Neuauflage der 3. Auflage von 1921 von B.G. Teubner, Berlin und Leipzig
- [7] Albrecht Fölsing, Albert Einstein, suhrkamp taschenbuch 3087, 1999
- [8] Domenico Giulini, Über die Herkunft der Speziellen Relativitätstheorie, erschienen in: Herbert Hunziker (Hrsg.) *Der jugendliche Einstein und Aarau* (Birkhäuser Verlag, Basel, 2005)
- [9] H. A. Lorentz, Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light, Sitzungsbericht der Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam vom 23. April 1904, erschienen in den PROCEEDINGS of the SECTION OF SCIENCES im Juli 1904 (siehe auch [12]).
- [10] A.A. Logunov, HENRI POINCARÉ AND RELATIVITY THEORY, 2005
- [11] Peter Wolff, Kosmische Gravitation oder Gravitation unter Zentral- und Allsymmetrie, 6. Version, Herbst 2015
- [12] Besprechung von [9] in „Beiblätter zu den Annalen der Physik“, Band 29, Nr. 4, März 1905; auf Seite 169 findet man die Lorentztransformationen, wenn man x durch $x \pm v t$ ersetzt, aber ohne Lorentzens Faktor l .
- [13] H. Poincaré, LA THÉORIE DE LORENTZ ET LE PRINCIPE DE RÉACTION aus einer Festschrift zu Ehren von Lorentz vom Dezember 1900. Auf Seite 486 findet man in moderner Umschrift $dm c = \frac{dE}{c}$ (5. Gleichung auf dieser Seite); diese Gleichung wurde später als $E = mc^2$ berühmt; Einstein hat diese Arbeit 1906 sogar einmal zitiert.
- [14] John Stachel (Hg.), Einsteins Annus mirabilis, Rowohlt Taschenbuch Verlag, 2001, deutschsprachige Ausgabe der amerikanischen Originalausgabe *Einstein's Miraculous Year* von 1998
- [15] Olga Chashchina, Natalya Dudisheva und Zurab Silagadze, Voigt transformations in retrospect: missed opportunities? — One more essay on the Einstein-Poincaré priority dispute, 2016, physics.hist-ph/1609.08647

- [16] W. Voigt, Über das Dopplersche Prinzip, 1887, Nachdruck 1916 in der Physik. Zeitschrift XVI
- [17] Albert Einstein, Geometrie und Erfahrung; erweiterte Fassung des Festvortrages gehalten an der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27. Januar 1921 von Albert Einstein, mit 2 Textabbildungen, Springer, 1921
- [18] J. Reignier, The birth of special relativity. — „One more essay on the subject“., 2000, physics.hist-ph/0008229
- [19] Fritz Hasenöhr, Zur Theorie der Strahlung in bewegten Körpern. Berichtigung, eingegangen am 26. Jan. 1905, Annalen der Physik, Band 15.

Anhang: Auszüge aus Einsteins berühmter Arbeit

Teile, die Einstein in das Manuskript seiner berühmten SRT-Arbeit von 1905 [5] mit allergrösster Wahrscheinlichkeit erst nach dem Lesen von Poincarés Kurzfassung [2] seiner grossen SRT-Arbeit vom Juli 1905 [3] einfügte, habe ich rot hervorgehoben; bisher habe ich aber erst Auszüge vom ersten, kinematischen Teil, insbesondere von § 3., erstellt. Möglich, dass ich gelegentlich auch noch weitere Auszüge, Kommentare oder Hervorhebungen einfügen werde.

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.

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 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.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die misslungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche Voraussetzung einführen, daß sich das Licht im leeren Raume stets mit einer bestimmten, vom Bewegungszustande des emittierenden Körpers unabhängigen Geschwindigkeit V fortpflanze. Diese beiden Voraussetzungen genügen, um zu einer einfachen und widerspruchsfreien Elektrodynamik bewegter Körper zu gelangen unter Zugrundelegung der Maxwellschen Theorie für ruhende Körper. Die Einführung eines „Lichtäthers“ wird sich insofern als überflüssig erweisen, als nach der zu entwickelnden Auffassung weder ein mit besonderen Eigenschaften ausgestatteter „absoluter Raum“ eingeführt, noch einem Punkte des leeren Raumes, in welchem elektromagnetische Prozesse stattfinden, ein Geschwindigkeitsvektor zugeordnet wird.

Die zu entwickelnde Theorie stützt sich – wie jede andere Elektrodynamik – auf die Kinematik des starren Körpers, da die Aussagen einer jeden Theorie Beziehungen zwischen starren Körpern (Koordinatensystemen), Uhren und elektromagnetischen Prozessen betreffen. Die nicht genügende Berücksichtigung dieses Umstandes ist die Wurzel der Schwierigkeiten, mit denen die Elektrodynamik bewegter Körper gegenwärtig zu kämpfen hat.

I. Kinematischer Teil.

§ 1. Definition der Gleichzeitigkeit.

§ 2. Über die Relativität von Längen und Zeiten

§ 3. Theorie der Koordinaten- und Zeittransformation von dem ruhenden auf ein relativ zu diesem in gleichförmiger Translationsbewegung befindliches System.

Seien im „ruhenden“ Raume zwei Koordinatensysteme, d.h. zwei Systeme von je drei von einem Punkte ausgehenden, aufeinander senkrechten starren materiellen Linien, gegeben. Die X-Achsen beider Systeme mögen zusammenfallen, ihre Y- und Z-Achsen bezüglich parallel sein. Jedem Systeme sei ein starrer Maßstab und eine Anzahl Uhren beigegeben, und es seien beide Maßstäbe sowie alle Uhren beider Systeme einander genau gleich.

Es werde nun dem Anfangspunkte des einen der beiden Systeme (k) eine (konstante) Geschwindigkeit v in Richtung der wachsenden x des anderen, ruhenden Systems (K) erteilt, welche sich auch den Koordinatenachsen, dem betreffenden Maßstabe sowie den Uhren mitteilen möge. Jeder Zeit t des ruhenden Systems K entspricht dann eine bestimmte Lage der Achsen des bewegten Systems und wir sind aus Symmetriegründen befugt anzunehmen, daß die Achsen des bewegten Systems zur Zeit t (es ist mit „ t “ immer eine Zeit des ruhenden Systems bezeichnet) den Achsen des ruhenden Systems parallel seien.

Wir denken uns nun den Raum sowohl vom ruhenden System K aus mittels des ruhenden Maßstabes als auch vom bewegten System k mittels des mit ihm bewegten Maßstabes ausgemessen und so die Koordinaten x, y, z bez. ξ, η, ζ ermittelt. Es werde ferner mittels der im ruhenden System befindlichen ruhenden Uhren durch Lichtsignale in der in § 1 angegebenen Weise die Zeit t des ruhenden Systems für alle Punkte des letzteren bestimmt, in denen sich Uhren befinden; ebenso werde die Zeit τ des bewegten Systems für alle Punkte des bewegten Systems, in welchen sich relativ zu letzterem ruhende Uhren befinden, bestimmt durch Anwendung der in § 1 genannten Methode der Lichtsignale zwischen den Punkten, in denen sich die letzteren Uhren befinden.

Zu jedem Wertsystem x, y, z, t , welches Ort und Zeit eines Ereignisses im ruhenden System vollkommen bestimmt, gehört ein jenes Ereignis relativ zum System k festlegendes Wertsystem ξ, η, ζ, τ , und es ist nun die Aufgabe zu lösen, das diese Größen verknüpfende Gleichungssystem zu finden.

Zunächst ist klar, daß die Gleichungen **linear** sein müssen wegen der Homogenitätseigenschaften, welche wir Raum und Zeit beilegen.

Setzen wir

$$x' = x - vt, \quad (2)$$

so ist klar, daß einem im System k ruhenden Punkte ein bestimmtes, von der Zeit unabhängiges Wertsystem x', y, z zukommt. Wir bestimmen zuerst τ als Funktion von x', y, z und t . Zu diesem Zwecke haben wir in Gleichungen auszudrücken, daß τ nichts anderes ist als der Inbegriff der Angaben von im System k ruhenden Uhren, welche nach der im § 1 gegebenen Regel synschron gemacht worden sind.

Vom Anfangspunkt des Systems k aus werde ein Lichtstrahl zur Zeit τ_0 längs der X-Achse nach x' gesandt und von dort zur Zeit τ_1 nach dem Koordinatenursprung reflektiert, wo er zur Zeit τ_2 anlange; so muß dann sein:

$$\frac{1}{2}(\tau_0 + \tau_2) = \tau_1 \quad (3)$$

oder, indem man die Argumente der Funktion τ beifügt und das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im ruhenden Systeme anwendet:

$$\frac{1}{2} \left[\tau(0, 0, 0, t) + \tau \left(0, 0, 0, t + \frac{x'}{V-v} + \frac{x'}{V+v} \right) \right] = \tau \left(x', 0, 0, t + \frac{x'}{V-v} \right). \quad (4)$$

Hieraus folgt, wenn man x' unendlich klein wählt:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{V-v} + \frac{1}{V+v} \right) \frac{\partial \tau}{\partial t} = \frac{\partial \tau}{\partial x'} + \frac{1}{V-v} \frac{\partial \tau}{\partial t}, \quad (5)$$

oder

$$\frac{\partial \tau}{\partial x'} + \frac{v}{V^2 - v^2} \frac{\partial \tau}{\partial t} = 0. \quad (6)$$

Es ist zu bemerken, daß wir statt des Koordinatenursprunges jeden anderen Punkt als Ausgangspunkt des Lichtstrahles hätten wählen können und es gilt deshalb die eben erhaltene Gleichung für alle Werte von x', y, z .

Eine analoge Überlegung – auf die H- und Z-Achse angewandt – liefert, wenn man beachtet, daß sich das Licht längs dieser Achsen vom ruhenden System aus betrachtet stets mit der Geschwindigkeit $\sqrt{V^2 - v^2}$ fortpflanzt:

$$\frac{\partial \tau}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial z} = 0. \quad (8)$$

Aus diesen Gleichungen folgt, da τ eine **lineare** Funktion ist:

$$\tau = a \left(t - \frac{v}{V^2 - v^2} x' \right), \quad (9)$$

wobei a eine vorläufig unbekannte Funktion $\varphi(v)$ ist und der Kürze halber angenommen ist, daß im Anfangspunkte von k für $\tau = 0$ $t = 0$ sei¹.

Mit Hilfe dieses Resultates ist es leicht, die Größen ξ, η, ζ^2 zu ermitteln, indem man durch Gleichungen ausdrückt, daß sich das Licht (wie das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in Verbindung mit dem Relativitätsprinzip verlangt) auch im bewegten System gemessen mit der Geschwindigkeit V fortpflanzt. Für einen zur Zeit $\tau = 0$ in Richtung der wachsenden ξ ausgesandten Lichtstrahl gilt:

$$\xi = V \tau, \quad (10)$$

oder

$$\xi = a V \left(t - \frac{v}{V^2 - v^2} x' \right). \quad (11)$$

Nun bewegt sich aber der Lichtstrahl relativ zum Anfangspunkt von k im ruhenden System gemessen mit der Geschwindigkeit $V - v$, so daß gilt:

$$\frac{x'}{V - v} = t. \quad (12)$$

Setzen wir diesen Wert von t in die Gleichung für ξ ein, so erhalten wir:

$$\xi = a \frac{V^2}{V^2 - v^2} x'. \quad (13)$$

Auf analoge Weise finden wir durch Betrachtung von längs den beiden anderen Achsen bewegte Lichtstrahlen:

$$\eta = V \tau = a V \left(t - \frac{v}{V^2 - v^2} x' \right), \quad (14)$$

wobei

$$\frac{y}{\sqrt{V^2 - v^2}} = t; \quad x' = 0; \quad (15)$$

also

$$\eta = a \frac{V}{\sqrt{V^2 - v^2}} y \quad (16)$$

¹Lesehilfe: Die Gleichung (9), entspricht bis auf Parameterumbenennungen exakt der Ortszeitgleichung für t' von Seite 169 in [12] mit $a = \frac{1}{k}$.

²Lesehilfe: Die folgenden Gleichungen dafür sind (13), (16) und (17) und entsprechen bis auf Parameterumbenennungen exakt den Raumtransformationen für x', y' und z' von Seite 169 in [12] mit $a = \frac{1}{k}$.

$$\zeta = a \frac{V}{\sqrt{V^2 - v^2}} z. \quad (17)$$

Setzen wir für x' seinen Wert [(2)] ein, so erhalten wir:

$$\begin{aligned} \tau &= \varphi(v) \beta \left(t - \frac{v}{V^2} x \right), \\ \xi &= \varphi(v) \beta (x - vt), \\ \eta &= \varphi(v) y, \\ \zeta &= \varphi(v) z, \end{aligned} \quad (18)$$

wobei

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}} \quad (19)$$

und φ eine vorläufig unbekannte Funktion von v ist. Macht man über die Anfangslage des bewegten Systems und über den Nullpunkt von τ keinerlei Voraussetzung, so ist auf den rechten Seiten dieser Gleichungen je eine additive Konstante zuzufügen.

Wir haben nun zu beweisen, daß jeder Lichtstrahl sich, im bewegten System gemessen, mit der Geschwindigkeit V fortpflanzt, falls dies, wie wir angenommen haben, im ruhenden System der Fall ist; denn wir haben den Beweis dafür noch nicht geliefert, daß das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit mit dem Relativitätsprinzip vereinbar sei.

Zur Zeit $t = \tau = 0$ werde von dem zu dieser Zeit gemeinsamen Koordinatenursprung beider Systeme aus eine Kugelwelle ausgesandt, welche sich im System K mit der Geschwindigkeit V ausbreitet. Ist (x, y, z) ein eben von dieser Welle ergriffener Punkt, so ist also

$$x^2 + y^2 + z^2 = V^2 t^2. \quad (20)$$

Diese Gleichung transformieren wir mit Hilfe unserer Transformationsgleichungen und erhalten nach einfacher Rechnung:

$$\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = V^2 \tau^2. \quad (21)$$

Die betrachtete Welle ist also auch im bewegten System betrachtet eine Kugelwelle von der Ausbreitungsgeschwindigkeit V . Hiermit ist gezeigt, daß unsere beiden Grundprinzipien miteinander vereinbar sind.

In den entwickelten Transformationsgleichungen tritt noch eine unbekannte Funktion φ von v auf, welche wir nun bestimmen wollen.

...

Aus dieser und der vorhin gefundenen Relation folgt, daß $\varphi(v) = 1$ sein muß, so daß die gefundenen Transformationsgleichungen übergehen in:

$$\begin{aligned} \tau &= \beta \left(t - \frac{v}{V^2} x \right), \\ \xi &= \beta (x - vt), \\ \eta &= y, \\ \zeta &= z, \end{aligned} \quad (22)$$

wobei

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}}, \quad (23)$$

§ 4. Physikalische Bedeutung der erhaltenen Gleichungen, bewegte starre Körper und bewegte Uhren betreffend.

§ 5. Additionstheorem der Geschwindigkeiten.

... ; man sieht daraus, daß solche Paralleltransformationen – wie dies sein muß – eine Gruppe bilden.
...

II. Elektrodynamischer Teil

§ 6. Transformation der Maxwell-Hertzschen Gleichungen für den leeren Raum. Über die Natur der bei Bewegung in einem Magnetfeld auftretenden elektromotorischen Kräfte.