

in: Maaß, Jürgen; Langer, Ulrich; Larcher, Gerhard (Hrsg.): *Philosophie und Geschichte der Mathematik, Vorträge aus dem Johannes Kepler Symposium 1995 - 2005* (= Schriftenreihe Geschichte der Naturwissenschaften und Technik, hrsg. v. Franz Pichler und Gerhard Pohl, Bd.5). Johannes Kepler Universität Linz, Universitätsverlag Rudolf Trauner: Linz 2005, S. 164 - 178.

Einstein und die Mathematiker/innen¹

Renate Tobies

Welches Verhältnis hatte Albert Einstein (1879-1955) zur Mathematik und zu Mathematiker/innen? Der Vortrag berücksichtigt neuere Ergebnisse der Einstein-Forschung, analysiert die Diskussionen über Mileva Marič-Einstein (1875-1948) zum Thema „Keine Mutter der Relativitätstheorie“, basiert auf der Analyse der Korrespondenz zwischen Einstein und dem Mathematiker Felix Klein (1849-1925) und fragt danach: Gab es einen Prioritätsstreit zwischen Einstein und David Hilbert (1862-1943) bei der Begründung der Allgemeinen Relativitätstheorie.

Einstein ist eine Persönlichkeit, die – von verschiedenen Seiten betrachtet – unterschiedliche Empfindungen auslösen kann. Als Wissenschaftler überragend, brachte er Umwälzungen im physikalischen Denken, vergleichbar mit Kopernikus, Kepler und Newton. Hochachtung empfinde ich vor dem politisch denkenden Menschen Einstein, mit unabhängiger pazifistischer Haltung; Widerwillen dagegen bei dem Gedanken an den despotischen egozentrischen Ehemann. Einsteins Verhältnis zur Mathematik – das heute im Mittelpunkt stehen soll – war gespalten.

Einstein und seine Resultate sind immer wieder Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen gewesen. Es gibt eine beträchtliche Anzahl älterer und jüngerer Biographien über ihn; seit Ende der 80er Jahre erscheinen seine gesammelten Abhandlungen, die in den USA herausgegeben werden. Einsteins Hauptleistung, die Formulierung der Speziellen und Allgemeinen Relativitätstheorie war so umwälzend, dass sie zu seinen Lebzeiten sowie auch gegenwärtig nicht allein in wissenschaftlichen Zeitschriften, sondern auch in populären Organen und Tageszeitungen diskutiert wurde und wird. Popularisierungen sind in der Regel vereinfacht und mitunter falsch, wie wir sehen werden. Einsteins Theorie hat euphorische Befürworter und Gegner auf den Plan gerufen. Für die Fachwissenschaftler gilt die

¹ Überarbeiteter Vortrag, der am 14.3.2001 im Kepler-Symposium an der Johannes Kepler Universität Linz gehalten wurde.

Allgemeine Relativitätstheorie heute als unerreichtes Vorbild, eine einheitliche Theorie zu schaffen (d.h. hier Raum, Zeit und Gravitation zusammenzubringen), als eine der besten, in sich konsistenten Theorien. Es folgten danach weitere Versuche einheitlicher Theorien, wie Eichtheorien (für ein entsprechendes Standardmodell wurde 1967 auch ein Nobelpreis verliehen), andere Versuche, die mit den Namen Supersymmetrie, Supergravitation, Strings, Superstrings verknüpft sind, sind noch umstritten. Darüber soll hier nicht im Detail verhandelt werden. Die noch immer große Zahl von Gegnern² der Einsteinschen Relativitätstheorie missversteht, dass es sich bei einer Theorie um eine angenäherte Beschreibung der Wirklichkeit zu einem bestimmten historischen Zeitpunkt handelt, die weiterentwickelt wurde und wird.

Mein Zugang zum Thema beruht auf der Beschäftigung mit den Biografien Felix Kleins und Emmy Noethers (1882-1935). Klein war seit 1886 Mathematik-Professor in Göttingen, holte 1895 David Hilbert dorthin; beide förderten auch Mathematikerinnen und bauten ein internationales Zentrum der Mathematik und Naturwissenschaften auf. Dazu gehörte, dass sie Hermann Minkowski (1864-1909) – Mathematikprofessor in Zürich während Einsteins Studienzeit – nach Göttingen zogen, der sofort ab 1905 die Einsteinschen Ergebnisse zur Diskussion brachte. Klein und Hilbert luden Einstein zum Vortrag nach Göttingen ein, korrespondierten mit ihm und profitierten von der Unterstützung durch Emmy Noether, die sie 1915 nach Göttingen holten.

Ich habe den Vortrag in fünf Punkte eingeteilt:

1. Ansichten Einsteins über Mathematik
2. Die Diskussionen über Mileva Marič-Einstein „Keine Mutter der Relativitätstheorie“
3. Die Aufnahme der Relativitätstheorie durch Mathematiker
4. Gab es eine Prioritätsfrage bei der Begründung der Allgemeinen Relativitätstheorie zwischen Einstein und Hilbert?
5. Über Einsteins Beziehungen zu Mathematiker/innen

² Vgl. <http://members.aon.at/markweger/Geg.htm>

1. Ansichten Einsteins über Mathematik

Einsteins Verhältnis zur Mathematik war gespalten, hatte ich eingangs gesagt. In Briefen, Vorträgen und anderen Verlautbarungen drückte er einerseits Hochachtung, andererseits Distanz aus.

„Mach Dir keine Sorgen wegen Deiner Schwierigkeiten mit der Mathematik; ich kann Dir versichern, daß meine noch größer sind“, schrieb Einstein am 7. Januar 1943 an eine Schülerin. [Barbara Wilson, Einstein-Archiv 42-606]

„Mathematik ist die einzige perfekte Methode, sich selber an der Nase herumzuführen“, formulierte er an anderer Stelle (zitiert in [Seelig 1956, S. 72f.])

In autobiographischen Aufzeichnungen hielt Einstein fest:

„... Ich hatte vortreffliche Lehrer (z.B. Hurwitz, Minkowski), so daß ich eigentlich eine tiefe mathematische Ausbildung hätte erlangen können. Ich aber arbeitete die meiste Zeit im physikalischen Laboratorium... Die übrige Zeit benutzte ich hauptsächlich, um die Werke von Kirchhoff, Helmholtz, Hertz usw. zu Hause zu studieren. Daß ich die Mathematik bis zu einem gewissen Grade vernachlässigte, hatte nicht nur den Grund, daß das naturwissenschaftliche Interesse größer war als das mathematische, sondern das folgende eigentümliche Erlebnis. Ich sah, daß die Mathematik in viele Spezialgebiete gespalten war, deren jedes diese kurze uns vergönnte Lebenszeit wegnehmen konnte. So sah ich mich in der Lage von Buridans Esel, der sich nicht für ein besonderes Bündel Heu entschließen konnte. Dies lag offenbar daran, daß meine Intuition auf mathematischem Gebiet nicht stark genug war, um das Fundamental-Wichtige, Grundlegende sicher von dem Rest der mehr oder weniger entbehrlichen Gelehrsamkeit zu unterscheiden.“ (zitiert nach [Schilpp 1949, S. 6])

Mathematik war für Einstein ein wichtiges Hilfsmittel, um große Zusammenhänge in der Natur zu erfassen. Man kann sagen: Der Beweis eines mathematischen Satzes allein hätte ihn kaum befriedigt. Dies drückt auch der Vortrag „Geometrie und Physik“ aus, den er 1921 in der Berliner Akademie hielt, in dem er den Gegensatz zwischen Mathematik und Physik thematisierte und u.a. betonte:

„Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit.“ [Einstein 1921, S. 3f.], [Hentschel 1990, S. 295]

Einsteins Verhältnis zur Mathematik ist also relativ zu seinen physikalischen Interessen zu sehen. Dass er durchaus früh Interesse an Mathematik besaß, dokumentieren seine folgenden Äußerungen:

„Im Alter von 12-16 machte ich mich mit den Elementen der Mathematik vertraut inklusive der Prinzipien der Differential- und Integralrechnung. Dabei hatte ich das Glück auf Bücher zu stoßen, die es nicht gar zu genau nahmen mit der logischen Strenge, dafür aber die Hauptgedanken übersichtlich hervortreten ließen. Diese Beschäftigung war im Ganzen wahrhaft faszinierend...“

Als 16jähriger drückte er seine Neigung zum abstrakten mathematischen Denken in einem Schulaufsatz aus. Er schrieb zum Thema „Meine Zukunftspläne“:

„Wenn ich das Glück habe, mein Examen erfolgreich zu bestehen, werde ich an die Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich gehen. Ich werde dort vier Jahre Mathematik und Physik studieren. Ich stelle mir vor, daß ich in diesen naturwissenschaftlichen Fächern Professor werde, wobei ich die theoretische Richtung wähle. Aus folgenden Gründen bin ich zu diesen Plänen gekommen: zur Hauptsache aus meiner individuellen Veranlagung für abstraktes und mathematisches Denken, aus dem Fehlen von Phantasie und praktischer Begabung...“

Einstein erreichte sein Ziel. Seine mathematischen Fähigkeiten waren durchaus beachtlich. Ausdruck dessen ist u.a., dass einige mathematische Begriffe seinen Namen tragen: Einstein-Tensor E_{ab} : $R_{ab} - R/2 g_{ab}$, Einstein-Raum (pseudo-) Riemannsche n -dimensionale Mannigfaltigkeit mit $R_{ab} - R/n g_{ab}$, Einsteinsche Summationskonvention

$$\text{z.B. kurz } a_k^i b_{lj}^{kl} \text{ für } \sum_{K=1}^n \sum_{l=1}^n a_k^i b_{lj}^{kl} .$$

In seinen produktivsten Jahren war die Physik Einsteins Ausgangspunkt; in mathematischer Hinsicht stützte er sich auf vorliegende Theorien sowie auf die Hilfe von Kollegen. Bei dem Mathematiker Marcel Großmann (1878-1936) bedankte er sich ausdrücklich, als er seine Ergebnisse der allgemeinen Relativitätstheorie 1915 publizierte. Wir fragen: Half ihm seine erste Frau Mileva Marič, um die 1905 vorgelegte spezielle Relativitätstheorie auszuarbeiten?

2. Die Diskussionen über Mileva Marič-Einstein „Keine Mutter der Relativitätstheorie“

Um es vorwegzunehmen: Die Frage, ob Mileva Marič einen Anteil an der Ausarbeitung der speziellen Relativitätstheorie besaß oder nicht, lässt sich aus den vorhandenen Dokumenten nicht abschließend beantworten. Die Kontroverse darüber (vgl. [Stäudner 1995]) darf bei unserem Thema jedoch nicht außer acht bleiben, geht es doch maßgeblich darum, ob Mileva Marič beitrug, die mathematischen Probleme der Theorie zu lösen, wie ihre serbische Biographin ausführte [Trubuhovič-Gjurič 1982]. Die Mathematikerin und Physikerin Desanka Trubuhovič-Gjurič legte 1969 eine Biographie in serbisch vor, die 1982 erstmals ins Deutsche übersetzt wurde – bedauerlicherweise ohne die in der serbischen Ausgabe enthaltenen detaillierten Quellenangaben. Diese Biographie sowie der erste 1987 erschienene Band der *Collected Papers* von Einstein mit Briefen an und von Marič widerlegten das Bild einer unattraktiven, mürrischen und ein wenig dummlichen Mileva, das frühe Einstein-Biographen (vgl. [Frank 1949], [Seelig 1952]) gezeichnet hatten. Die Briefe dokumentieren eine echte Liebesbeziehung³, ein uneheliches Kind (Lieserl) und eine wissenschaftliche Zusammenarbeit.

Beide studierten von 1896 bis 1900 an der ETH Zürich (Marič hatte übrigens die strengen Aufnahmeprüfungen an der ETH auf Anhieb bestanden, während Einstein es ein Jahr zuvor vergeblich versucht hatte.). Sie absolvierte zusätzlich ein Semester in Heidelberg, wo sie Zahlentheorie bei Carl August Köhler (1855-1932), Analytische Mechanik, Ausgewählte Kapitel der Differential- und Integralrechnung und elliptische Funktionen bei Leo Koenigsberger (1837-1921) sowie Physik (d.h. Wärmetheorie und Elektrodynamik) bei dem späteren Nobelpreisträger (1905), Antisemiten und Einstein-Gegner Philipp Lenard (1862-1947) hörte. Mileva Marič hatte damit nachweislich mehr Mathematik als Albert Einstein betrieben. Die Matrikeleintragungen an der ETH Zürich dokumentieren, welche Fächer beide hier belegten und welche Noten sie erhielten (vgl. Tabelle 1).

³ Vgl. auch die gesonderte Edition der Liebesbriefe zwischen Albert Einstein und Mileva Marič aus den Jahren 1897 bis 1903, hrsg. v. Jürgen Renn und Robert Schulmann.

Tabelle 1: ETH Zürich, Matrikeleintragungen⁴

	<i>Mileva Maric</i>		<i>Albert Einstein</i>	
1896/97				
Hurwitz ⁵ : Differential-und Integralrechnung	4,5	4,5	4,5	5
Geiser ⁶ : Analytische Geometrie	4,5		5	
Fiedler ⁷ : Darstellende Geometrie	4,5	4	4,5	4
Projektive Geometrie		3,5		5
Herzog: Mechanik		4,5		5
1897/98				
Hurwitz: Differentialgleichungen			5	
Weber: Physik		5	5,5	5
Fiedler: Projektive Geometrie			4	
1898/99				
Pernet: Physikalisches Praktikum	5		1	
Weber: Physikalisches Praktikum		5		5
Wolfer: Geographische Ortsbestimmung		5		4,5
1899/1900				
Weber: Physikalisches Praktikum	6	5	6	5
Fiedler: Geometrie der Lage	5			

Damals lehrten in Zürich auch Minkowski, Arthur Hirsch (1866-1948) und Ferdinand Rudio (1856-1929) höhere Mathematik (vgl. [Frei/Stammach 1994]); Einstein und Marič legten jedoch keine Prüfungen bei diesen Professoren ab.

Einstein schrieb in seinen autobiographischen Aufzeichnungen [1949]:

„Mit Eifer und Leidenschaft... arbeitete ich in Professor H. F. Webers physikalischem Laboratorium. Auch faszinierten mich Professor Geisers Vorlesungen über Infinitesimalgeometrie, die wahre Meisterstücke pädagogischer Kunst waren und mir später

⁴ Die 6 war die beste Note, Quelle: [Trubuhovič-Gjurič 1982].

⁵ Adolf Hurwitz (1859-1919)

⁶ Carl Friedrich Geiser (1843-1934)

⁷ Wilhelm Fiedler (1832-1912)

beim Ringen um die allgemeine Relativitätstheorie sehr halfen. Sonst aber interessierte mich in den Studienjahren die höhere Mathematik wenig. Irrigerweise schien es mir, dass dies ein so verzweigtes Gebiet sei, dass man leicht seine ganze Energie in einer entlegenen Provinz verschwenden könne. Auch glaubte ich in meiner Unschuld, dass es für Physiker genüge, die elementaren mathematischen Begriffe klar erfasst und für die Anwendung bereit zu haben und dass der Rest in für den Physiker unfruchtbaren Subtilitäten bestehe – ein Irrtum, den ich erst später mit Bedauern einsah.“

Briefe Einsteins an Mileva Marič deuten auf eine befruchtende Zusammenarbeit hin. Einige Stellen seien zitiert. Im August 1899 redete er sie noch mit Sie an:

„Als ich das erste Mal in Helmholtz las, konnte ichs gar nicht begreifen, daß sie nicht bei mir saßen & jetzt geht's mir nicht viel besser. Ich finde das Zusammenarbeiten sehr gut & heilsam & daneben weniger austrocknend.“

Ein Jahr später: „Wie hab ich nur früher allein leben können, Du mein kleines Alles. Ohne Dich fehlt mirs an Selbstgefühl, Arbeitslust, Lebensfreude..“

Am 6. September 1900: „Zur Untersuchung des Thomseffekts hab ich wieder zu einer andern Methode meine Zuflucht genommen, die eine gewisse Ähnlichkeit mit der Deinen zur Bestimmung der Abh. (Ableitung?) von k nach T hat und welche eine solche Untersuchung auch voraussetzt. Wenn wir nur gleich morgen anfangen könnten.“

Im (13.?) September 1900 schrieb Albert an Mileva:

„Ich freu mich auch sehr auf unsere neuen Arbeiten. Du mußt jetzt Deine Untersuchung fortsetzen – wie stolz wird ich sein, wenn ich gar vielleicht ein kleines Dokterlin zum Schatz hab & selbst noch ein ganz gewöhnlicher Mensch bin!“

Mileva Marič bestand die Abschlussprüfung schließlich nicht (d.h. nur mit 4) – das uneheliche Kind mag die Hauptursache gewesen sein. Sie konnte jedoch ihre wissenschaftliche Arbeit fortsetzen. Es ist wohl nicht nur so daher geredet, wenn Albert Einstein am 27. März 1901 an sie schrieb:

„Wie glücklich und stolz werde ich sein, wenn wir beide zusammen unsere Arbeit über die Relativbewegung siegreich zu Ende geführt haben. Wenn ich so andre Leute sehe, da kommt mirs so recht, was an Dir ist!“

Und am 28. Dezember 1901 schrieb er:

„Mein Herzensschatzer!... Bis Du mein liebes Weiberl bist, wollen wir recht eifrig zusammen wissenschaftlich arbeiten, dass wir keine alten Philistersleut werden, gellst.“

Die meisten Einstein-Biographen scheuten keine Mühe, die Aussagen als banal abzutun und die serbische Biographin als Nationalistin zu diffamieren. Während den Diskussionen mit Michele Besso (1873-1955) bzw. Großmann eine Schlüsselfunktion für das Auffinden entscheidender Ideen Einsteins zugeschrieben wird, wird eine gleichberechtigte Zusammenarbeit mit Marič von vornherein als undenkbar angesehen. Die serbische Biographin Trubuhovič-Gjurič hatte formuliert, dass Mileva Marič die systematisch denkende Wissenschaftlerin war, die Einstein zur Arbeit anhielt (der gern genial faul war) und seine Ideen mathematisch durcharbeitete. Mit Zeugenaussagen belegte sie den Satz Milevas: „Vor kurzem haben wir ein sehr bedeutsames Werk vollendet, das meinen Mann weltberühmt machen wird.“

Die mehrheitlich bezweifelte Behauptung, das Originalmanuskript zur speziellen Relativitätstheorie von 1905 war mit Einstein-Marity unterzeichnet, ist in jüngerer Zeit von der Wiener Wissenschaftsforscherin Margarete Maurer überprüft worden, indem sie serbische und russische Quellen analysierte (vgl. [Maurer 1996]). Die hier wiedergegebene Äußerung des russischen Physikers Abram F. Joffe (1880-1960) ist belegt. Auch wenn die Quelle keinen eindeutigen Beweis liefern kann, in welcher Weise Marič an der Ausarbeitung der Manuskripte beteiligt war, wird man insgesamt ein entscheidendes Beitragen annehmen dürfen. Abschließend sei noch bemerkt: Das Bild von Marič mag auch dadurch verzerrt in die Geschichte eingegangen sein, dass Einstein selbst vor und nach der Scheidung ihr gegenüber angemessenen Respekt vermissen ließ. Seine erst in jüngerer Zeit entdeckten Briefe mit dem Tenor „Tue, was ich Dir sage!“, dokumentieren ein erschreckend despotisches Verhalten (vgl. hierzu auch [Maurer 1996]).

3. „Die Mathematiker sind ...hypnotisiert... die Physiker kritisch...“. Zur Aufnahme der Relativitätstheorie durch Mathematiker

Ich beziehe mich hier vor allem auf Entwicklungen in Göttingen und in der Deutschen Mathematiker-Vereinigung. Hermann Minkowski war im Jahre 1902 auf Betreiben Hilberts und Kleins auf einen zusätzlich errichteten mathematischen Lehrstuhl nach Göttingen gekommen. Nach Vorliegen der Ergebnisse zur speziellen Relativitätstheorie hatte sich Minkowski intensiv mit diesem Gegenstand befasst und seine Göttinger Kollegen darin eingeführt. Felix

Klein, der sofort erkannte, dass sich die Theorie in seine Klassifikationsgedanken des Erlanger Programms einordnen ließ, schrieb darüber 1910 – nach dem frühen Tode von Minkowski:

„Poincaré und Einstein hatten 1905 die elektrodynamischen Fragen, die mit der Lorentzgruppe zusammenhängen und zur Aufstellung der sogenannten speziellen Relativitätstheorie führen sollten, in den Vordergrund des Interesses gebracht. In der Erkenntnis, daß hier für den Mathematiker der dankbarste Untersuchungsgegenstand gegeben sei, setzte Minkowski sofort mit der Weiterentwicklung der Gedankenreihen ein. Ich ... erzähle gern, daß er damals Hilbert und mir darüber auf unseren regelmäßigen wöchentlichen Spaziergängen immer wieder eindringliche Vorträge gehalten hat.“ [Klein 1921, S. 413]

Einstein gebührte das große Verdienst, die erkenntnistheoretische Bedeutung erfasst zu haben:

- Die Lichtgeschwindigkeit ist unabhängig vom Bewegungszustand der Lichtquelle; ist immer konstant: $E=mc^2$.
- In allen gleichförmigen gegeneinander bewegten Koordinatensystemen gelten die gleichen physikalischen Gesetze.

Minkowski arbeitete in den Jahren 1907/08 die mathematische Seite weiter aus. Dabei sprach er bereits 1907 in einem Vortrag in der Göttinger Mathematischen Gesellschaft von einer neuen Raumauffassung:

„... die neuen Ansätze (würden), falls sie tatsächlich die Erscheinungen richtig wiedergeben, fast den größten Triumph bedeuten, den je die Anwendung der Mathematik gezeigt hat. Es handelt sich... darum, daß die Welt in Raum und Zeit in gewissem Sinne eine vierdimensionale Nichteuklidische Mannigfaltigkeit ist. Es würde zum Ruhme der Mathematiker, zum grenzenlosen Erstaunen der übrigen Menschheit offenbar werden, daß die Mathematiker rein in ihrer Phantasie ein großes Gebiet geschaffen haben, dem, ohne daß dieses je in der Absicht gelegen hätte, eines Tages die vollendete reale Existenz zukommen sollte.“(zitiert nach [Klein 1927, S. 77])⁸

Während Mathematiker den Gedankengängen der Relativitätstheorie leicht folgen konnten und eigene Beiträge dazu leisteten, blieben Experimentalphysiker abwartend und skeptisch. Der Göttinger Experimentalphysiker Eduard Riecke (1845-1915) schrieb am 13. Oktober 1911 an Johannes Stark (1874-1957) – der mit Lenard unrühmlich als „deutscher Physiker“ in die Geschichte eingehen sollte:

„Nach Karlsruhe konnte ich nicht kommen... ...Relativitätsprinzip und Quantentheorie halte ich für keine definitiven Formen, in die wir unsere physikalischen Erkenntnisse fassen

werden, aber die Physik wird sicher um einen guten Schritt weiter sein, wenn sie alles erschöpft hat, was aus diesen Principien oder Vorstellungen zu lernen ist. Über das Relativitätsprinzip hatten wir am Anfang des vorigen Semesters grosse aber resultatlose Debatten in der physikalischen und in der mathematischen Gesellschaft. Die Mathematiker sind von der Eleganz der Rechnungsregeln hypnotisiert, die Physiker kritisch.“ (zitiert in [Tobies 1994])

In Karlsruhe – wohin Riecke nicht gefahren war – hatte im September die Jahresversammlung der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte und mit ihr gemeinsam – wie damals üblich – die der Mathematiker und Physiker stattgefunden. Hier war das Thema Relativitätstheorie ein Schwerpunkt. Es gab vier Vorträge von Mathematikern (Karl Heun, Vladimir Varičak, Joseph Wellstein, Lothar Heffter), die ausgehend von Minkowski sich hauptsächlich mit der nichteuklidischen Interpretation der Relativitätstheorie befassten.

Felix Klein drückte das unterschiedliche Verhältnis von Physikern und Mathematikern zur Relativitätstheorie wie folgt aus:

„Die Mehrzahl der älteren Physiker hat sich ihr nur zögernd, wenn überhaupt, angeschlossen, wie psychologisch verständlich ist. Wer Dezenien hindurch in sich eine bestimmte Denkweise ausgestaltet hat, kann sich nicht plötzlich umschalten... Die Mathematiker in großer Zahl (schlossen) sich sofort der neuen Bewegung an. Auf der einen Seite kann hierzu gesagt werden, daß derjenige, der durch die Schule der Nichteuklidischen Geometrie gegangen war, von vornherein prädestiniert war, die Galilei-Newton-Gruppe, sobald dies wünschenswert schien, gegen die Lorentzgruppe, von der sie ein Grenzfall ist, zu vertauschen... Die Mathematiker (trugen) die neuen Gedankenreihen ... vermöge ihrer invariantentheoretischen (oder geometrischen) Untersuchungen, wenn auch in anderer Form, ohne es zu wissen, bereits fertig in sich herum...“ [Klein 1927, S. 76]

Einstein konnte bei der Ausarbeitung der allgemeinen Relativitätstheorie an vorliegende mathematische Ergebnisse anknüpfen. Die erste wichtige Idee dazu hatte er schon 1911 (Äquivalenzprinzip, Annalen der Physik: Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichts). Es verwundert auch kaum, dass in seinem erst vor wenigen Jahren entschlüsselten Notizbuch schon 1912 die entscheidenden Formeln standen, allerdings noch ohne die physikalische Interpretation (vgl. [Renn/Sauer]). Nicht die Formeln waren letztlich das Entscheidende, die für verschiedene Zusammenhänge und auf unterschiedlichem Wege

⁸ Seinen bekannt gewordenen Vortrag zum Thema „Raum und Zeit“ hielt er schließlich auf der Naturforscherversammlung in Köln am 21. September 1908, vgl. Minkowski [1909].

abgeleitet werden konnten, sondern die maßgebliche physikalische Interpretation, für die Einstein das alleinige Verdienst gebührt.

Als er 1915 die Arbeit zur Grundlegung der allgemeinen Relativitätstheorie in Bd. 49 der *Annalen der Physik* veröffentlichte, anerkannte Einstein die vorhergehenden Arbeiten von Mathematikern (Minkowski, Gauß, Riemann, Christoffel, Ricci, Levi-Civita) und bedankte sich bei Marcel Großmann, „der mir durch seine Hilfe nicht nur das Studium der einschlägigen mathematischen Literatur ersparte, sondern mich auch beim Suchen nach den Feldgleichungen der Gravitation unterstützte.“

Der Mathematiker David Hilbert fand nahezu zu gleicher Zeit fast dieselben Gleichungen. Kann er deshalb als einer der Väter der allgemeinen Relativitätstheorie gelten?

4. Gab es eine Prioritätsfrage bei der Begründung der Allgemeinen Relativitätstheorie zwischen Einstein und Hilbert?

Die Frage der Priorität Einsteins bei seinen wissenschaftlichen Leistungen wird seit einigen Jahren diskutiert. Einstein-Gegner bestritten und bestreiten heftig jede Originalität seiner Ergebnisse. Ein jüngst in den USA erschienenes Buch ragt dabei besonders heraus [Bjorknes 2003], in dem es Wissenschaftshistoriker angreift, die auf der Basis neuer Quellen Einsteins Priorität gegenüber Hilbert beim Aufstellen von Feldgleichungen für die allgemeine Relativitätstheorie hervorheben⁹, was auch im deutschen Blätterwald Aufsehen erregte (vgl. z.B. [Fell 1997]).

Hilbert und Einstein hatten im November 1915 – nachdem Einstein im Sommer zum Vortrag in Göttingen eingeladen war und auch gemeinsam mit Hilbert Urlaub an der Ostsee verbracht hatte (vgl. hierzu [Sauer 1999]), Publikationen vorgelegt, in denen Feldgleichungen formuliert wurden.

In Verbindung damit möchte ich zwei Fragen aufwerfen. Haben die Zeitgenossen Einsteins tatsächlich eine Prioritätsfrage zwischen Hilbert und Einstein gesehen? Und weshalb wird die Behauptung, Einstein sei ein Plagiator, immer wieder aufs Neue aufgewärmt? Obgleich mit Klaus Hentschels Buch [1990] alle einschlägigen Argumente gründlich auseinander genommen wurden, werden die alten Fehlinterpretationen erneut aufgewärmt, selbst Lenard wird – ohne jede historische Einordnung – fleißig zitiert, so dass man vorsichtig fragen darf,

⁹ Leo Corry (Universität Tel-Aviv, Israel), Jürgen Renn (Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin) und John Stachel (Universität Boston, USA) analysierten neu gefundene Korrekturbögen der Arbeit von Hilbert, die wenige Tage vor der Einsteinschen 1915 publiziert worden war [*Science*, Bd. 278, 1997, S. 1270]. In den Korrekturbögen fehlten die entscheidenden Gleichungen noch. Dies wurde so interpretiert, dass nun endgültig entschieden ist, dass „Einstein alleiniger Vater der Relativitätstheorie ist“, vgl. hierzu auch [Fell 1997].

kommt die Schrift aus einer antisemitischen Ecke? Die Darstellung Einsteins als Plagiator – mit all seinen Ergebnissen – missversteht das grundlegend Neue seiner Ergebnisse, das z.B. der bei [Bjckness 2003] u. a. als Erfinder der Feldgleichungen der Gravitation dargestellte Mathematiker David Hilbert selbst sehr wohl erkannt hatte. Mindestens seit der Edition der im WS 1919/20 gehaltenen Hilbert-Vorlesung *Natur und mathematisches Erkennen* dürfte das bekannt sein. Hilbert erläuterte darin u.a. die bisherigen Mängel in den Grundlagen der Physik und formulierte: „Diese Mängel verschwinden in der von Einstein in neuester Zeit aufgestellten Gravitationstheorie.“ [Hilbert 1992, S.49] Hilbert beschrieb die mathematisch-physikalischen Zusammenhänge, einschließlich der Rolle von Feldgleichungen. Dabei ging er ausschließlich auf Einsteins Ergebnisse ein – ohne auch nur die Ableitung eigener Gleichungen in anderem Zusammenhang zu erwähnen. So schrieb er u. a.: „Diese Annahme besagt, dass es ein System von Feldgleichungen gibt, gemäß welchen die $g_{\mu\nu}$ von dem elektromagnetischen Felde abhängen. Ein solches Gleichungssystem hat Einstein wirklich aufgestellt und er konnte zeigen, dass dieses in erster Annäherung zu dem Newtonschen Gravitationsgesetz und bei weiterer Annäherung zu einer der Erfahrung entsprechenden Modifikation des Newtonschen Gesetzes führt.“ [Hilbert 1992, S.50] Während Hilbert begeistert „in dieser Einsteinschen Theorie [...] eine konsequente Feldtheorie“ feierte [ebd., S.50] und euphorisch „das allgemeine Relativitätsprinzip als den höchsten Triumph des Geistes über die Erscheinungswelt“ ansah [ebd., S.51], fielen Philosophen und Physiker über Einstein her, weil sie die Theorie nicht verstanden. Zu diesem Nichtverstehen kommt bei [Bjeknes 2003] eine wüste Hetzkampagne gegen den Charakter Einsteins. Wenn wir auch keineswegs Einsteins Verhalten gegenüber seinen Ehefrauen tolerieren können, so ist das hier gezeichnete Frauen-Bild Einsteins ganz undifferenziert.

Die Frage der Priorität zwischen Hilbert und Einstein beim Aufstellen von Feldgleichungen ist erst künstlich durch Gegner der Theorie sowie durch spätere Wissenschaftshistoriker aufgeworfen worden. Simonys *Kulturgeschichte der Physik*, die 1978 erstmals im Ungarischen erschien und seit 1990 in Deutsch vorliegt [Simony 1990], vermittelt, dass die Prioritätsfrage mit [Mehra 1974] zum Diskussionsgegenstand wurde.

Für die mathematischen Zeitgenossen gab es keinen Prioritätsstreit zwischen Einstein und Hilbert. Klein publizierte 1918 einen Brief an Hilbert, bezogen auf Hilberts in Rede stehende Arbeit von 1915¹⁰ und fügte bei der Herausgabe seiner eigenen *Gesammelten mathematischen Abhandlungen* 1921 Zusatzbemerkungen dazu an:

¹⁰ Göttinger Nachrichten, Math.-phys. Klasse, (1915), S. 395-407 (Mitteilung vom 20. November 1915).

„7. Die allgemeine Relativitätstheorie des reinen Schwerefeldes ergibt sich hieraus nach EINSTEINS grundlegenden Ansatz (der von EINSTEIN und HILBERT fast gleichzeitig exakt formuliert wurde⁸), indem man die $g_{\mu\nu}$ den zehn, in ihrer Gesamtheit der in Rede stehenden Gruppe gegenüber invarianten Gleichungen $K_{\mu\nu} = 0$ unterwirft...“ [Klein 1921, S. 566]

Und Klein erklärte in der zugehörigen Fußnote (8):

„EINSTEIN ‚Zur allgemeinen Relativitätstheorie‘ in den Sitzungsberichten der Berliner Akademie vom 18. und 25. November 1915 (S. 799 bis 801 bez. S. 844 bis 847 des Jahrgangs), HILBERT in seiner (vorstehend kommentierten) ersten Note über die „Grundlagen der Physik“ in den Göttinger Nachrichten vom 20. November 1915. Von einer Prioritätsfrage kann dabei keine Rede sein, weil beide Autoren ganz verschiedene Gedankengänge verfolgen (und zwar so, daß die Verträglichkeit der Resultate zunächst nicht einmal sicher schien). EINSTEIN geht *induktiv* vor und denkt gleich an beliebige materielle Systeme. HILBERT *deduziert*, indem er übrigens die im Texte unter 8. Genannte Beschränkung auf Elektrodynamik eintreten läßt, aus voraufgestellten obersten Variationsprinzipien. HILBERT hat dabei insbesondere auch an MIE angeknüpft. – Erst in seiner Mitteilung an die Berliner Akademie vom 29. Oktober 1916 stellte EINSTEIN die Verbindung der beiderlei Ansätze her.“ [Klein 1921, S. 566]

Es ist bemerkenswert, wie der fast 70jährige Felix Klein das tatsächlich Neue des Einsteinschen Gedankens klar legte. Klein erklärte, Bezug nehmend auf Hilberts Arbeit vom 20. November 1915:

„Natürlich haben vor Einstein wir andern die krummlinigen Koordinaten w in der Physik nur so eingeführt, dass wir die drei Raumkoordinaten beliebig transformierten, das t aber wesentlich ungeändert ließen. Das t gleichberechtigt mit in die Koordinatentransformation einzubeziehen, erscheint als die eine große Leistung von Einstein. Die andere ist dann selbstverständlich die, dass der Gravitation Rechnung getragen werden kann, in dem an die Stelle des ds^2 von verschwindendem Riemannschen Krümmungsmaße ein allgemeineres ds^2 gesetzt wird.“ [Klein 1921, S. 557]

Hilberts Arbeit zielte auf eine einheitliche geometrische Feldtheorie, einem Thema, dem sich Einstein in der Folgezeit – ohne endgültige Lösung – intensiv widmen sollte.

Es sei abschließend betont, dass die Überschrift „Einstein – alleiniger Vater der allgemeinen Relativitätstheorie!“ eine gewisse Sensationsmeldung ist, die insofern ihre Berechtigung hat, weil damit auf interessante wissenschaftshistorische Ergebnisse aufmerksam gemacht werden kann. Zu Lebzeiten Einsteins wurde von keinem Mathematiker bestritten, dass Einstein

alleiniger Vater der Relativitätstheorie ist, auch nicht von Hilbert, um dessen Prioritätsansprüche es hier scheinbar ging.

5. Über Einsteins Beziehungen zu Mathematiker/innen

Einsteins Kontakte zu Mathematikern waren vielfältig. Marcel Großmann, die Göttinger Mathematiker, in Princeton war er mit Kurt Gödel (1906-1978), Hermann Weyl (1885-1955), John von Neumann (1903-1957), David van Dantzig (1900-1959) zusammen. Ich will mich – wie eingangs erläutert – vor allem auf das Verhältnis zu Emmy Noether sowie zu dem 30 Jahre älteren Felix Klein beschränken, zumal dies zur Einbindung Einsteins in die Deutsche Mathematiker-Vereinigung und in die Redaktion der Zeitschrift *Mathematische Annalen* führte.

Klein und Hilbert hatten sich nach dem plötzlichen Tode von Minkowski 1909 Fragen der Relativitätstheorie zugewandt und widmeten sich später auch in Lehrveranstaltungen dem Thema. Hilbert hielt im Sommersemester 1916 eine Vorlesung über Grundlagen der Physik. Klein drang seit dieser Zeit ebenfalls tiefer in den Gegenstand ein, begann ab März 1917 eine Korrespondenz mit Einstein und gestaltete Vorlesungen – deren Ausarbeitung er an Einstein und andere Physiker schickte – zur allgemeinen Relativitätstheorie, die auch Emmy Noether hörte. Sowohl Hilbert als auch Klein bedankten sich in ihren entsprechenden Publikationen bei Emmy Noether und betonten, dass sie ohne ihre Hilfe nicht hätten in den Gegenstand eindringen können (vgl. [Klein 1921, S. 559, 560, 584f.]).

Aus dieser engen Zusammenarbeit resultierte Emmy Noethers Arbeit „Invariante Variationsprobleme“, die Klein am 26. Juli 1918 in der Sitzung der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen vorlegte [Noether 1918]. Einstein schrieb nach Erhalt der Arbeit am 27. Dezember 1918 an Klein:

„Beim Empfang der neuen Arbeit von Frl. Noether empfand ich es wieder als grosse Ungerechtigkeit, dass man ihr die *venia legendi* vorenthält. Ich wäre sehr dafür, dass wir beim Ministerium einen energischen Schritt unternähmen...“ (UBG Nachlass Klein; zitiert in [Tobies 1991/92])

Daraufhin wandte sich Klein am 5. Januar 1919 an Ministerialdirektor Naumann in Berlin:

„Bei den heutigen Zeitumständen kann es in der Tat nicht fehlen, dass die jetzige Stellung von Frl. Noether von vielen Seiten als eine unbillige Einengung empfunden wird, zumal die wissenschaftliche Leistung von Frl. Noether alle von uns gehegte Voraussicht weit übersteigt. Sie hat im letzten Jahre eine Reihe theoretischer Untersuchungen abgeschlossen, die oberhalb

aller im gleichen Zeitraum von Anderen hierorts realisierten Leistungen liegen (die Arbeiten der Ordinarien mit eingeschlossen)...“ [ebd.]

Am 8. Mai 1919 verfügte das Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung, wie es jetzt während der Weimarer Republik hieß, dass es keine Einwände gegen die Habilitation Emmy Noethers erhebe. Einstein hatte dazu beigetragen, dass Noether sich nun im dritten Anlauf, noch vor dem Gesetz vom 21. Februar 1920 – das die Zulassung zur Habilitation nicht mehr an das Geschlecht der Person band –, mit Ausnahmegenehmigung habilitieren konnte (vgl. hierzu [Tollmien 1990, 1991]).

Die Arbeit „Invariante Variationsprobleme“ wurde als Habilitationsschrift anerkannt. Darin sind die berühmten Noether-Theoreme (zwei Sätze) enthalten, die auch heute noch wichtige Bestandteile der theoretischen Physik sind (vgl. hierzu [Tobies 2004]). Noethers Ergebnisse wurden bereits kurz nach Erscheinen ihrer Arbeit von Einstein, Hilbert, Weyl u.a. aufgegriffen. Die in der Arbeit formulierten Sätze sind von mathematischer Art; daraus ergeben sich aber wesentliche Konsequenzen für die Physik. Emmy Noether, die ihre Arbeiten jeweils selbst am besten erklären konnte, formulierte zusammenfassend im Lebenslauf, den sie mit der Habilitationsschrift einreichte:

„Die Arbeit ‚Invariante Variationsprobleme‘, die ich als Habilitationsschrift bezeichnet habe, beschäftigt sich mit beliebigen endlichen oder unendlichen kontinuierlichen Gruppen im Lie’schen Sinne und zieht die Folgerungen aus der Invarianz eines Variationsproblems gegenüber einer solchen Gruppe. In den allgemeinen Resultaten sind als Spezialfälle, die in der Mechanik bekannten Sätze über erste Integrale, die Erhaltungssätze und die in der Relativitätstheorie aufgetretenen Abhängigkeiten zwischen den Feldgleichungen enthalten, während andererseits auch die Umkehrung dieser Sätze gegeben wird.“ [UAG]

Emmy Noether stützte sich auf die durch den norwegischen Mathematiker Sophus Lie (1842-1899) ausgearbeitete Theorie der kontinuierlichen Transformationsgruppen und folgte Kleins Bemerkung, dass die in der Physik übliche Bezeichnung „Relativität“ durch „Invarianz relativ zu einer Gruppe“ zu ersetzen ist. Noether konnte in ihrer Arbeit u.a. Hilberts Behauptung über das Versagen „eigentlicher“ Energiesätze bei „allgemeiner Relativität“ beweisen.

Klein, den das Problem der Erhaltungssätze in der Korrespondenz mit Einstein 1917/18 besonders stark beschäftigt hatte, drückte in einem Brief vom 13. April 1925 an Max Planck (1858-1947) aus: „Ganz klar ist das Sachverhältnis bei Fräulein Noether in den Göttinger Nachrichten von 1918 auseinandergesetzt [...] da steht unter Angabe klarer mathematischer

Gründe, warum in der speziellen Relativitätstheorie eigentliche Energiesätze gelten, in der allgemeinen Relativitätstheorie aber nicht“. (zitiert in [Tobies 1994])

Die „Noether-Theoreme“ prägen vor allem deshalb die moderne Physik, weil sie drei große Prinzipien – Symmetrien, Erhaltungssätze und Extremalprinzipien – miteinander verbinden.

Die vorliegende Korrespondenz zwischen Klein und Einstein enthält 38 Briefe bzw. Karten, davon 21 von Einstein und 17 von Klein. Sie reicht vom 26. März 1917 bis 28. April 1920.

Die inhaltlichen Schwerpunkte sind

1) Die Interpretation der Energieerhaltung (integrale Erhaltungssätze)

2) Die Frage der Struktur des Raumes konstanter Krümmung in der Kosmologie.

Hervorstechend ist, dass Klein als Mathematiker versuchte, durch geeignete Wahl eines Koordinatensystems einen Term zu beseitigen, so dass sich der entsprechende Ausdruck in einen integralen Erhaltungssatz umformen ließ, Dagegen zeigte Einstein – durch sein Herangehen als Physiker – dass gerade die Beseitigung dieses Terms unzulässig ist. Nur durch diesen Term konnten Energieverluste ausgedrückt werden, die durch Gravitationswellen entstehen. Kleins Versuch, einen Raum mit einer Bewegungsgruppe, mit Symmetrien zu betrachten, hatte physikalisch keinen Sinn. Einstein erklärte in einem Brief vom 24. März 1918:

„Die Idee, durch besondere Koordinatenwahl die Größen... zu null zu machen, um den Energieansatz... für die Materie allein aufrecht halten zu können, habe ich vor einiger Zeit erwogen. Dieser Weg ist aber nicht gangbar, weil eben nach der Theorie Energieverluste durch Gravitationswellen existieren, die so nicht Berücksichtigung finden können.“ [UBG, Cod. Ms Klein]

Mathematisch hat dies Emmy Noether in ihrer Arbeit von 1918 dann genau ausgearbeitet.

1917 hatte sich Einstein *kosmologischen Fragen* zugewandt. In einer Abhandlung der Berliner Akademie gab er erstmals ein auf der Gravitationstheorie begründetes in sich konsistentes mathematisches Modell für den Kosmos an. Arnold Sommerfeld (1868-1951) schrieb darüber: „Einstein besuchte Klein bald darauf und erzählte ihm von seinen kosmologischen Ideen, der Welt von konstanter positiver Krümmung. Klein sagte ihm sofort, dass es zwei topologisch verschiedene Welten dieser Art gebe, die eine entsprechend der gewöhnlichen Punktgeometrie auf der Kugel, die andere entsprechend der Geometrie des Strahlenbündels, durch die je zwei antipodische Punkte miteinander identifiziert werden. Einstein verstand das unmittelbar und sagte: ‘Also ist die Welt nur halb so groß, als ich dachte.’ Diese hemi-sphärische Welt spielt

auch heute (leider unter dem verkehrten Namen 'elliptische Welt') in der Kosmologie eine Rolle.“ [Sommerfeld 1950]

Der erste vorhandene Brief Einsteins an Klein enthält die Aussage:

„Da ich nie nichteuklidische Geometrie getrieben habe, ist mir bei meiner letzten Abhandlung die näherliegende elliptische Geometrie entgangen.“ [UBG, Cod Ms Klein]

Im Briefwechsel werden wiederholt verschiedene Gründe dafür erörtert, wie das Weltmodell auszusehen hat. Die Frage ist jedoch bis heute nicht abschließend beantwortet. Die innerhalb der „relativistischen“ Kosmologien betrachteten Räume sind im Allgemeinen nichteuklidisch. Die mathematischen Gleichungen lassen die Struktur des Raumes unbestimmt. Während Klein auch eine Hyperboloidlösung für wahrscheinlich hielt, lehnte Einstein diese zunächst ab, da er sich nur ein statisches Verhalten des Weltalls vorstellen konnte. Mathematisch sind – wie gesagt – beide Lösungen möglich. Eine Entscheidung darüber, welche der möglichen Weltmodelle das tatsächliche Weltall beschreiben, erfordert noch weitere Beobachtungen, Messungen.

Klein war seit der Begründung der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 1890 bemüht, das Verhältnis von Mathematik und Naturwissenschaften eng zu gestalten. Dazu gehörte, Physiker als Mitglieder für die Vereinigung zu gewinnen. Im Jahre 1918 traten der DMV besonders viele Physiker bei. Klein forderte am 18. Mai 1918 Einstein persönlich dazu auf:

„Die Planckwoche ist sehr anregend verlaufen. Pl. selbst wird Ihnen am besten davon erzählen und wollte Ihnen insbesondere die Bitte vortragen, Sie wollen der Deutschen Mathematiker-Vereinigung als Mitglied beitreten...“ [UBG, Cod. Ms Klein]

Einstein antwortete umgehend einen Tag später:

„Bei der Deutschen Mathematiker-Vereinigung will ich mich gerne anmelden, da Sie es für richtig halten.“ [ebd.]

Als die erste Jahresversammlung nach dem 1. Weltkrieg im Jahre 1920 in Bad Nauheim stattfand, waren es die Mathematiker, die anregten, im Kreise des umfassenden Gremiums der Naturforscherversammlung eine Diskussionsveranstaltung zur Relativitätstheorie abzuhalten. Der damalige Vorsitzende der Deutschen Mathematiker-Vereinigung Robert Fricke (1861-1930), Professor in Braunschweig und ein angeheirateter Neffe Felix Kleins, berichtete in einem Brief vom 28. September 1920 an Klein über diese Veranstaltung:

„Die sensationelle Relativitätssitzung nahm einen überaus glänzenden Verlauf, der mich in die grösste Begeisterung versetzt hat. Die Entwicklung wurde zu einem Triumph Einsteins, der wirklich ein überlegener Geist ist. Ich bin stolz darauf, zu dieser Sitzung den Anstoss

gegeben zu haben, und freue mich nach der Sitzung, Einstein persönlich meine Empfindungen habe aussprechen können... Bei der Diskussion war die Überlegenheit Einsteins über Lenard selbst dem Laien fühlbar.“ [UBG, Cod. Ms. Klein]

Im gleichen Jahre hatte sich Einstein auf Bitten Kleins bereit erklärt, in das Herausbergremium der *Mathematischen Annalen* einzutreten. Die Zeitschrift wechselte 1920 vom Verlag B.G. Teubner zu Julius Springer. Klein war seit 1876 einer der Hauptherausgeber der 1869 durch A. Clebsch und Carl Neumann gegründeten *Annalen* und hatte dafür gesorgt, dass Hilbert in der 90er Jahren in die Redaktion eintrat. Als Hauptherausgeber fungierten um 1920 Klein, Hilbert und der Hilbert-Schüler Otto Blumenthal (1876-1944). Einstein war 1920 der erste Physiker, der dazu aufgefordert wurde, was natürlich auch einer besonderen Wertschätzung seiner mathematischen Leistungsfähigkeit gleichkam. Die Annalen-Redaktion war bestrebt, durch Einstein den Anteil der Beiträge zur theoretischen Physik in der Zeitschrift zu erhöhen. In einem Brief vom 28. April 1920 schrieb Klein an Einstein:

„Die heutige physikalische Produktion, wie sie sich zum Beispiel in der Physikalischen Zeitschrift darstellt, leidet an einer Unrast, welche mit der für math. Arbeiten notwendigen Vertiefung schwerlich verträglich ist. Ich würde Ihnen besonders dankbar sein, wenn Sie sich demgegenüber für das Zustandekommen für die Annalen geeigneter Arbeiten einsetzen.“ [UBG Cod. Ms Klein]

Einstein blieb bis Band 100 (1928) einer der Herausgeber der *Mathematischen Annalen*. In dieser Zeit publizierte die Zeitschrift insgesamt 23 Aufsätze zur theoretischen Physik, darunter einen Beitrag von Einstein: „Über die formale Beziehung des Riemannschen Krümmungstensors zu den Feldgleichungen der Gravitation“ (Bd. 97, S. 99-103). Nach seinem Ausscheiden veröffentlichte Einstein noch eine Arbeit in den *Mathematischen Annalen*: „Auf die Riemann-Metrik und den Fern-Parallelismus gegründete einheitliche Feldtheorie“ (Bd. 102, 1930). Ansonsten tendierte der Anteil von Beiträgen zur theoretischen Physik nach Einsteins Ausscheiden gegen Null.

Klein war 1925 gestorben. Dass Einstein die wissenschaftliche Diskussion mit dem 30 Jahre älteren Mathematiker sehr geschätzt hat, geht aus den Worten hervor:

„Verehrter Herr Kollege!

Ich freue mich mit Ihrer neuen Arbeit wie ein Kind, das von seiner Mutter ein Stück Schokolade bekommt. Bei Ihnen wird gerade auf die Beine gestellt, was bei mir krumm und lahm durcheinander purzelt. Nun sende ich Ihnen die Korrektur einer neuen Arbeit, die wieder

weit mehr auf physikalischer als mathematischer Stütze ruht... Eine kurze Meinungsäußerung darüber wäre mir sehr interessant.“ (14. April 1919) [UBG Cod. Ms. Klein]

Insgesamt gilt, die Mathematik kann theoretische Möglichkeiten eröffnen. Zur tatsächlichen Erklärung der Wirklichkeit bedarf es der physikalischen Interpretation bzw. naturphilosophischer Überlegungen, welche – wie es Klein ausdrückte – die eigentliche Stärke Einsteins ausmachten [UBG, Cod. Ms. Klein, Bl. 39 der Vorlesungsnotizen].

Klein erlebte nicht mehr Einsteins etwas überbetonte Wertschätzung der Mathematik für physikalische Erkenntnis. Einsteins Skepsis gegenüber der Quantentheorie („Gott würfeln nicht!“) und die (schließlich erfolglose) Suche nach einer einheitlichen geometrischen Feldtheorie¹¹ gingen mit einer gewissen Überschätzung der Mathematik einher, wenn er mathematische Kriterien als „einzige zuverlässige Quelle der Wahrheit“ bezeichnete oder als „eigentliches schöpferisches Prinzip“, so in einer Vorlesung in Oxford 1933 (vgl. [Clark 1976]).

Bibliografie

[UAG] Universitätsarchiv Göttingen, Personalakte Emmy Noether.

[UBG] Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Handschriftenabteilung, Cod. MS Hilbert (Briefe Einsteins an Hilbert), Ms. Klein (Korrespondenz Einstein-Klein; u.a.).

Bjerknes, Christopher Jon: *Anticipations of Einstein in the General Theory of Relativity*. Vol. I. XTX INC. Downers Grove: Illinois, USA 2003.

Clark, Ronald W.: *Albert Einstein, Leben und Werk*. Heyne: München 1976.

Einstein, Albert: *Mein Weltbild*, hrsg. v. Carl Seelig, 1. Aufl. 1931. Europa Verlag: Zürich; Ullstein Verlag: 1998.

Einstein, Albert: „Autobiographisches“. *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, hrsg. v. P. Schilpp. Vieweg: Braunschweig 1979.

Einstein, Albert: *The Collected Papers, Volume 1-9*, edited by Robert Schulmann et al.. University Press: Princeton 1987-2004.

Einstein, Albert; Marič, Mileva. *Am Sonntag küsst' ich Dich mündlich. Die Liebesbriefe 1897-1903*, hrsg. v. Jürgen Renn und Robert Schulmann. Piper Verlag: München 1998.

¹¹ Zur Entwicklung einheitlicher geometrischer Feldtheorien vgl. [Vizgin 1984]; nachdem Einstein mit der allgemeinen Relativitätstheorie sozusagen eine Physikalisierung der Geometrie gebracht hatte, erstrebte er eine vollständige Geometrisierung der Physik im Sinne einer einheitlichen geometrischen Feldtheorie, die nicht zum Erfolg führte. Die Forschungen basierten auf einer gewissen Überbetonung der mathematischer Struktur und einer Unterschätzung experimentell-empirischer Aspekte für die physikalische Theorie.

- Neuausgabe (angekündigt) mit einem Essay »Einstein und die Frauen« von Armin Hermann. Piper Verlag: München 2005.
- Fell, Ulrike: „Einsteins Ehrenrettung, Physiker ist alleiniger Vater der allgemeinen Relativitätstheorie“. *Süddeutsche Zeitung* v. 27.11.1997.
- Fölsing, Albrecht: *Albert Einstein*. Frankfurt a.M. 1993.
- Frank, Philipp: *Einstein. Sein Leben und seine Zeit*. München 1949.
- Frei, Günther; Stambach, Urs: *Die Mathematiker an den Zürcher Hochschulen*. Birkhäuser Verlag: Basel 1994.
- Hentschel, Klaus: *Interpretationen und Fehlinterpretationen der speziellen und der allgemeinen Relativitätstheorie durch Zeitgenossen Albert Einsteins* (Sciences Networks. Historical Studies, Bd. 6). Birkhäuser Verlag: Basel, Boston, Berlin 1990.
- Hermann, Armin: *Einstein. Der Weltweise und sein Jahrhundert*. München 1994.
- Hilbert, David: *Natur und mathematisches Erkennen*, hrsg. v. David E. Rowe. Birkhäuser Verlag: Basel 1992.
- Klein, Felix: „Zu Hilberts erster Note über die Grundlagen der Physik“. (Zuerst publiziert in: *Nachrichten der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch-physikalische Klasse*. Vorgelegt in der Sitzung vom 25. Januar 1918) *Gesammelte Mathematische Abhandlungen*, Bd. I. Springer Verlag: Berlin 1921.
- Klein, Felix: *Vorlesungen über die Entwicklung der Mathematik im 19. Jahrhundert, Teil II: Die Grundbegriffe der Invariantentheorie und ihr Eindringen in die Mathematische Physik*. Verlag Julius Springer: Berlin 1927.
- Maurer, Margarete: „Weil nicht sein kann, was nicht sein darf... ‚Die Eltern‘ oder ‚Der Vater‘ der Relativitätstheorie? Zum Streit über den Anteil von Mileva Marić an der Entstehung der Relativitätstheorie.“ *PCnews*, Wien Nr. 48, Jg. 11 (1996), H. 3, S. 20-27.
- Mehra, Jagdish: *Einstein, Hilbert, and the Theory of Gravitation*. D. Reichel Publishing Co.: Dordrecht (Niederlande), Boston (USA) 1974.
- Minkowski, Hermann: „Raum und Zeit“: *Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte*, 80 (1909), S. 4-9; ausführlicher in: *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*, 18 (1909) Abt. 1, S. 75-88, wieder abgedruckt in: Sommerfeld; Arnold (Hrsg.): *Das Relativitätsprinzip. Eine Sammlung von Abhandlungen*. Leipzig und Berlin 1913, ⁵1923, ⁷1974, S. 54-71.
- Noether, Emmy: „Invariante Variationsprobleme“. *Nachrichten der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* (26. Juli 1918), 1918, S. 235-257. Wiederabdruck in Noether,

- Emmy: *Gesammelte Abhandlungen – Collected Papers*, edited by N. Jacobson. Springer Verlag: Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1983.
- Renn, Jürgen; Sauer, Tilman: *Einsteins Züricher Notizbuch. Die Entdeckung der Feldgleichungen der Gravitation im Jahre 1912*. Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Preprint 28, Berlin.
- Sauer, Tilman: „The Relativity of Discovery: Hilbert’s First Note on the Foundations of Physics“. *Archive for History of Exact Sciences* 53 (1999) Nr. 6, pp.529-575.
- Schilpp, Paul Arthur (ed): *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*. Library of Living Philosophers: Evanston, IL 1949. deutsch, *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*. Kohlhammer: Stuttgart 1955; Vieweg: Braunschweig 1979.
- Seelig, Carl: *Albert Einstein und die Schweiz*. Europa Verlag: Zürich, Stuttgart, Wien 1952 (mit revidierten und erweiterten Fassungen unter anderem Titel 1954, 1960).
- Seelig, Carl (Hrsg.): *Helle Zeit - Dunkle Zeit*. Europa Verlag: Zürich 1956; Vieweg: Braunschweig, Wiesbaden 1986.
- Simony, : *Kulturgeschichte der Physik*. Urania Verlag: Jena, Leipzig, Berlin 1990.
- Sommerfeld, Arnold: „Zum 25. Todestag von Felix Klein“. *Physikalische Blätter* 6 (1950) S. 273-274.
- Städner, Frank: „Keine Mutter der Relativitätstheorie. Die Kontroverse um den Anteil Mileva Maričs an der Speziellen Relativitätstheorie“. *NTM-Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin*, N.S. 3 (1995) S. 45-54.
- Tobies, Renate: „Zum Beginn des mathematischen Frauenstudiums in Preußen“. *NTM - Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin*, 28 (1991/92) 2, S. 151-172.
- Tobies, Renate: „Albert Einstein und Felix Klein“. *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 47 (1994) H. 9, S. 345-352.
- Tobies, Renate: „Emmy Noether.“ *Spektrum der Wissenschaft*, August 2004, S. 70-77.
- Tollmien, Cordula: „Eine Biographie der Mathematikerin Emmy Noether, zugleich ein Beitrag zur Geschichte der Habilitation von Frauen an der Universität Göttingen“. *Göttinger Jahrbuch* 38 (1990) S. 153-219.
- Tollmien, Cordula: „Die Habilitation von Emmy Noether an der Universität Göttingen“. *NTM-Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin* 28 (1991) S. 1-11.

Truhovič-Gjurič, Desanka: *Im Schatten von Albert Einstein. Das tragische Leben der Mileva Einstein-Marič*. Bern, Stuttgart 1982.

Vizgin, Vladimir Pavlovič: „Einstein, Hilbert, Weyl: Genesis des Programms der einheitlichen geometrischen Feldtheorien.“ *NTM-Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin* 21 (1984) H. 2, S. 23-33.