

**August Kopff,  
die Relativitätstheorie,  
und zwei Briefe Albert Einsteins  
an Kopff im Archiv des  
Astronomischen Rechen-Instituts**

**Roland Wielen**

**und**

**Ute Wielen**

Astronomisches Rechen-Institut  
Zentrum für Astronomie  
Universität Heidelberg

Heidelberg

2013

Englische Übersetzung des Titels:

**August Kopff, the Theory of Relativity,  
and Two Letters from Albert Einstein to Kopff  
in the Archives of the Astronomisches Rechen-Institut**

Diese Arbeit wird elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform  
HeiDOK der Universität Heidelberg,  
die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird:

HeiDOK - Der Heidelberger Dokumentenserver

Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link:

<http://archiv.ub.uni-heidelberg.de>

Auf den Seiten von HeiDOK kann nach der vorliegenden Arbeit gesucht werden. Am schnellsten geht dies über die Suche nach „Wielen“ als Person bzw. als Autor.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>9</b>
<b>Abstract</b>	<b>9</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>10</b>
<b>2 Biographie von August Kopff</b>	<b>11</b>
2.1 Eltern, Jugend, Studium, Heirat . . . . .	11
2.2 Tätigkeit an der Heidelberger Sternwarte und der Heidelberger Universität 1906-1914 . . . . .	13
2.3 Militärdienst im Ersten Weltkrieg 1914-1918 . . . . .	15
2.4 Tätigkeit an der Heidelberger Sternwarte und der Heidelberger Universität 1918-1924 . . . . .	16
2.5 Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts in Berlin und Sermuth und Tätigkeit an der Berliner Universität 1924-1945 . .	18
2.6 Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts in Heidelberg, Direktor der Heidelberger Sternwarte und Tätigkeit an der Hei- delberger Universität ab 1945 . . . . .	22
<b>3 Zeittafel zur Relativitätstheorie</b>	<b>25</b>
3.1 Daten zur Relativitätstheorie . . . . .	25
3.2 Daten zu Albert Einstein . . . . .	26
<b>4 Kopff und die Relativitätstheorie</b>	<b>27</b>
4.1 Kopffs beginnendes Interesse an der Relativitätstheorie und seine intensive Einarbeitung in die Theorie . . . . .	27
4.2 Kopff und seine Beziehungen zu Erwin Freundlich . . . . .	29

4.3	Kopffs Vorlesungen über Relativitätstheorie . . . . .	32
4.3.1	Vorlesung im Wintersemester 1919/20: „Relativitätstheorie“ . . . . .	33
4.3.2	Vorlesung im Sommersemester 1920: „Relativitätstheorie II“ . . . . .	34
4.3.3	Ausgefallene Vorlesung im Sommersemester 1922: „Einführung in die Relativitätstheorie“ . . . . .	34
4.3.4	Vorlesung im Sommersemester 1923: „Einführung in die Relativitätstheorie“ . . . . .	35
4.3.5	Vorlesung im Sommersemester 1924: „Relativitätstheorie (für Hörer aller Fakultäten)“ . . . . .	36
4.3.6	Frühere und spätere Vorlesungen anderer Dozenten über Relativitätstheorie in Heidelberg . . . . .	36
4.4	Kopffs Buch über die Relativitätstheorie . . . . .	39
4.4.1	Die erste Auflage von 1921 . . . . .	39
4.4.2	Die zweite Auflage von 1923 . . . . .	46
4.4.3	Die englische Ausgabe von 1923 . . . . .	59
4.4.4	Die italienische Ausgabe von 1923 . . . . .	67
4.4.5	Die russische Ausgabe von 1933 . . . . .	87
4.4.6	Eine japanische Ausgabe? . . . . .	89
4.4.7	Besprechungen der Bücher Kopffs . . . . .	91
4.4.8	Konkurrierende Werke . . . . .	96
4.4.9	Warum gab es keine weitere Auflage des Buches? . . . . .	98
4.5	Kopffs Teilnahme an der Sonnenfinsternis- Expedition 1922 zur Weihnachtsinsel . . . . .	100
4.5.1	Einsteins Vorhersage der Lichtablenkung und frühere Sonnenfinsternis-Expeditionen . . . . .	100

4.5.2	Vorbereitungen für die Sonnenfinsternis-Expedition zur Weihnachtsinsel . . . . .	102
4.5.3	Ablauf der Sonnenfinsternis-Expedition zur Weihnachtsinsel . . . . .	106
4.5.4	Andere Expeditionen zur Beobachtung der Sonnenfinsternis vom 21. September 1922 . . . . .	112
4.5.5	Lichtablenkung an der Sonne: „Einstein-Effekt“ versus „Courvoisier-Effekt“ . . . . .	116
4.5.6	Aktivitäten von Freundlich und Kopff nach 1922 . . . . .	118
4.6	Kopffs Lehrbuchartikel über die Relativitätstheorie von 1928 . . . . .	120
4.6.1	Besprechungen des von Kopff herausgegebenen Bandes „Physik des Kosmos“ des Lehrbuchs . . . . .	135
4.7	Kopffs sonstige Arbeiten zur Relativitätstheorie . . . . .	139
4.7.1	Kopff 1920a: Die Einsteinsche Relativitätstheorie . . . . .	139
4.7.2	Kopff 1921b: Das Rotationsproblem in der Relativitätstheorie . . . . .	140
4.7.3	Kopff 1921c: Bemerkung zur Rotationsbewegung im Gravitationsfeld der Sterne . . . . .	141
4.7.4	Kopff 1921d: Über den Einfluß von Sonne und Mond auf das Zentrifugalfeld der Erde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie . . . . .	142
4.7.5	Kopff 1921e: Zur Frage der Verschiebung der scheinbaren Fixsternörter in Sonnennähe . . . . .	142
4.7.6	Kopff 1922a: 1. Teil: Über eine Möglichkeit der Prüfung des speziellen Relativitätsprinzips auf astronomischem Wege 2. Teil: Über die astronomische Aberration in der Relativitätstheorie (Berichtigung [ <i>zum 1. Teil</i> ]). . . . .	143
4.7.7	Kopff 1924a: Zur Weiterentwicklung der Weltgeometrie (Relativitätstheorie) . . . . .	145

4.7.8	Kopff 1924b: Courvoisier-Effekt und Einstein-Effekt . . .	146
4.7.9	Kopff 1924c: La déviation des rayons lumineux au voisinage du Soleil et la théorie de la relativité . . . . .	146
4.7.10	Kopff 1925: Die Relativitätstheorie in der Schule . . . . .	147
4.7.11	Kopff 1932: Die Ablenkung des Lichtes im Schwerefeld der Sonne . . . . .	148
4.8	Kopffs Besprechungen von Büchern zur Relativitätstheorie und zur Kosmologie . . . . .	148
4.8.1	Besprechung des Buches von Thirring (1921) . . . . .	148
4.8.2	Besprechung des Buches von Eddington (1923a) . . . . .	149
4.8.3	Besprechung des Buches von Tolman (1934) . . . . .	149
4.8.4	Besprechung des Buches von Hubble (1936) . . . . .	149
4.8.5	Besprechung des Buches von Hubble (1937) . . . . .	150
4.9	Rückblick . . . . .	152
<b>5</b>	<b>Kopff und seine Beziehungen zu Einstein</b>	<b>154</b>
<b>6</b>	<b>Der überlieferte Briefwechsel zwischen Einstein und Kopff</b>	<b>159</b>
6.1	Verlauf des Briefwechsels zwischen Einstein und Kopff . . . . .	159
6.2	Überlieferung des Briefwechsels zwischen Einstein und Kopff . . . . .	160
6.3	Wissenschaftlicher Inhalt des Briefwechsels zwischen Einstein und Kopff . . . . .	161
<b>7</b>	<b>Texte und Scans des Briefwechsels zwischen Einstein und Kopff</b>	<b>168</b>
7.1	Einsteins Brief an Kopff vom 13. Januar 1930 . . . . .	168

7.2	Kopffs Brief an Einstein vom 16. Januar 1930 . . . . .	170
7.3	Einsteins Brief an Kopff vom 20. Januar 1930 . . . . .	172
7.4	Kopffs Brief an Einstein vom 30. Januar 1930 . . . . .	175
7.5	Einsteins Brief an Kopff vom 31. Januar 1930 . . . . .	177
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>181</b>
8.1	Hörer der Kopffschen Vorlesungen über Relativitätstheorie . . .	181
8.1.1	Hörer der Vorlesung im Wintersemester 1919/20 . . . . .	181
8.1.2	Hörer der Vorlesung im Sommersemester 1920 . . . . .	183
8.1.3	Potentielle Hörer der Vorlesung im Sommersemester 1922	184
8.1.4	Hörer der Vorlesung im Sommersemester 1923 . . . . .	184
8.1.5	Hörer der Vorlesung im Sommersemester 1924 . . . . .	186
8.2	Schriftverkehr zwischen Freundlich und Kopff . . . . .	188
8.2.1	Postkarte von Freundlich an Kopff vom 15. Juli 1918 . . . . .	188
8.2.2	Brief von Freundlich an Kopff vom 24. Mai 1926 . . . . .	193
8.3	Fremde Hinweise zur Verbesserung von Kopffs Buch und von seinem Lehrbuchartikel . . . . .	196
8.3.1	Postkarte von R. Schleußinger an Kopff vom 26. Juli 1921 . . . . .	196
8.3.2	Brief von H. Thirring an Kopff vom 7. Juli 1922 . . . . .	199
8.3.3	Brief eines nichtidentifizierten Schreibers an Kopff vom 28. Dezember 1922 . . . . .	203
8.3.4	Buchbesprechung durch Max von Laue im Jahr 1923 . . . . .	204

8.3.5	Brief von T. Ziehen an Kopff vom 25. März 1929 . . . . .	205
8.3.6	Undatierter Brief von F. von Krbek an Kopff . . . . .	209
8.4	Kopffs eigene Verbesserungsvorschläge zu seinem Buch und zu seinem Lehrbuchartikel . . . . .	211
8.4.1	Handschriftliche Notizen von Kopff in seinem Privat- exemplar der 2. Auflage des Buches . . . . .	211
8.4.2	Notizen von Kopff auf einem Kalenderblatt vom Juni 1924 . . . . .	224
8.5	Kopffs Diskussion des Einstein-Universums von 1917 . . . . .	225
8.6	Brief von D. Müller (Neffe von Kopff) an Einstein vom 2. Juli 1945 . . . . .	228
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>232</b>
<b>10</b>	<b>Danksagungen</b>	<b>252</b>
<b>11</b>	<b>Über die Autoren</b>	<b>253</b>

## Zusammenfassung

August Kopff (1882-1960) war einer der bedeutendsten deutschen Astronomen seiner Zeit mit hohem internationalen Ansehen. Er begann seine Karriere an der Heidelberger Sternwarte. Neben seiner Tätigkeit als Beobachter beschäftigte er sich intensiv mit der Relativitätstheorie. Von 1919 bis 1923 hielt er an der Universität Heidelberg Vorlesungen über Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie. 1921 und 1923 veröffentlichte er ein wissenschaftliches Lehrbuch der Relativitätstheorie, das auch ins Englische, Italienische und Russische übersetzt wurde. Auch publizierte er zahlreiche Zeitschriftenartikel dazu. 1922 nahm er an einer Sonnenfinsternis-Expedition zur Messung der Lichtablenkung an der Sonne teil. 1928 erschien von ihm ein größerer Lehrbuchartikel zur Relativitätstheorie. Von 1924 bis 1954 war Kopff Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts, zunächst in Berlin, ab 1945 in Heidelberg. Dort arbeitete er hauptsächlich auf dem Gebiet der Astrometrie, insbesondere an den Fundamental-Katalogen FK3 und FK4. Von 1947 bis 1950 war Kopff auch Direktor der Heidelberger Sternwarte. Aus dem Jahr 1930 ist ein Briefwechsel zwischen Kopff und Einstein in den Albert Einstein Archives überliefert. Zwei Originalbriefe Einsteins befinden sich noch im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts. Wir edieren hier diesen Briefwechsel, der Probleme der dynamischen Entwicklung des Erde-Mond-Systems und des Planetensystems aufgrund von Gezeitenreibung betrifft.

## Abstract

August Kopff (1882-1960) was one of the most eminent German astronomers of his time with a high international reputation. He started his career at the Heidelberg Observatory. In addition to carrying out observations he worked on the theory of relativity. From 1919 to 1923 he gave lectures on special and general relativity at the University of Heidelberg. In 1921 and 1923 he published a scientific textbook on the theory of relativity, which was also translated into English, Italian and Russian. He also wrote many related journal articles. In 1922 he was a member of a solar-eclipse expedition for measuring the light deflection by the Sun. In 1928, a large textbook article by him on relativity theory was published. From 1924 to 1954 Kopff was director of the Astronomisches Rechen-Institut, first at Berlin and since 1945 in Heidelberg. There he worked mainly on astrometry, especially on the fundamental catalogues FK3 and FK4. From 1947 to 1950 Kopff was also director of the observatory in Heidelberg. An exchange of letters between Kopff and Einstein from the year 1930 is documented in the Albert Einstein Archives. Two original letters by Einstein survived in the archives of the Astronomisches Rechen-Institut. We edit here this correspondence, which concerns the dynamical evolution of the Earth-Moon system and of the planetary system due to tidal friction.

# 1 Einleitung

August Kopff war einer der bedeutendsten deutschen Astronomen des 20. Jahrhunderts und genoß weltweit hohes Ansehen.

Zwei Städte beheimateten die Schauplätze seines Wirkens: zunächst Heidelberg, dann Berlin, und dann wieder Heidelberg.

Über 30 Jahre lang war Kopff Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts, von 1924 bis 1945 in Berlin und von 1945 bis 1954 in Heidelberg. Im Rahmen dieses Instituts erbrachte er seine wertvollsten wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der Astrometrie, insbesondere durch die Erarbeitung der weltweit als Standard angenommenen Fundamental-Kataloge FK3 und FK4. Dies haben wir ausführlich in einem unserer früheren Bücher (Wielen R. und Wielen U. 2012a) geschildert.

Im vorliegenden Werk wollen wir uns primär einem anderen Aspekt der Arbeit Kopffs widmen, nämlich seinen Beiträgen zur Einsteinschen Relativitätstheorie. Dabei ragt das seinerzeit sehr erfolgreiche Lehrbuch Kopffs, „Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie“, heraus. Es erschien in zwei Auflagen, 1921 und 1923.

Seine Arbeiten zur Relativitätstheorie brachten Kopff in engere Beziehungen zu Albert Einstein. Am besten dokumentiert werden diese Beziehungen durch einen überlieferten Briefwechsel zwischen Einstein und Kopff aus dem Jahre 1930. Zwei Briefe Einsteins an Kopff befinden sich noch im Original im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts und werden hier vorgestellt.

In Kapitel 2 geben wir eine Biographie von August Kopff. Kapitel 3 enthält eine kurze Zeittafel zur Relativitätstheorie, die aber nur die Ereignisse aufführt, die uns zur zeitlichen Einordnung der Aktivitäten von Kopff auf diesem Gebiet wichtig erscheinen. Kapitel 4 beschäftigt sich mit Kopffs Vorlesungen und Publikationen zur Relativitätstheorie. In Kapitel 5 schildern wir die Beziehungen Kopffs zu Einstein, die allerdings nur durch wenige Dokumente belegt sind. In Kapitel 6 stellen wir den überlieferten Briefwechsel zwischen Einstein und Kopff vor und diskutieren den wissenschaftlichen Inhalt der Briefe. Kapitel 7 gibt den vollständigen Text der Briefe wieder. Dort sind auch die beiden Briefe Einsteins, die sich im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts erhalten haben, als Scans abgebildet. Kapitel 8 gibt als Anhang ergänzende Informationen zu den Fragen, die in den anderen Kapiteln behandelt wurden.

## 2 Biographie von August Kopff

Die hier vorgelegte Biographie von August Kopff beruht bis 1924 zum größten Teil auf handschriftlichen Notizen von Kopff, die ungefähr von 1936 stammen und die wir in Kapitel 10.27 von Wielen R. und Wielen U. (2012a, 2012b) ediert und wiedergegeben haben. Weitere Quellen sind Dokumente, die ebenfalls in Wielen R. und Wielen U. (2012a, 2012b) ediert, zitiert oder abgebildet werden. Ferner haben wir die Tätigkeitsberichte der Heidelberger Sternwarte und des Astronomischen Rechen-Instituts ausgewertet. Nachrufe auf Kopff stammen u.a. von Gondolatsch (1962a, 1962b) Fricke (1960) und Kienle (1961). Ein Kurzlebenslauf von Kopff ist im Heidelberger Gelehrtenlexikon (Drüll 1986) gegeben, der zum Teil auf Akten aus dem Universitätsarchiv Heidelberg beruht, die wir ebenfalls benutzt haben. Im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts gibt es nur eine sehr unvollständige Personalakte von Kopff.

### 2.1 Eltern, Jugend, Studium, Heirat

August Adalbert Kopff wurde am 5. Februar 1882 in Heidelberg geboren. Seine Eltern waren der Flaschnermeister Otto Kopff (1848-1888) und dessen Ehefrau Friederike geb. Hartenstein (1852-1933).

Die Vorfahren des Vaters waren am Anfang des 18. Jahrhunderts in Treba bei Bleicherode im Harz ansässig. Sie waren meist Handwerker. Ein Urgroßvater von Kopff war Pastor. Der Vater Otto wurde in Erfurt geboren. Er kam auf der Wanderschaft durch Heidelberg und ließ sich hier als Flaschnermeister nieder. „Flaschner“ war die in Teilen Süddeutschlands übliche Berufsbezeichnung für Spengler bzw. Klempner (heute Installateur). Der Vater Otto Kopff erscheint erstmals im Einwohner-Verzeichnis der Stadt Heidelberg für 1876/77 (aufgestellt im November 1875) als Blecharbeiter. In den Heidelberger Adressbüchern für 1883 bis 1888 wird er als Inhaber einer „Douche- und Badeapparatenfabrik“ aufgeführt. Er starb relativ jung im Alter von 40 Jahren, als Kopff 6 Jahre alt war.

Die Vorfahren der Mutter lebten Ende des 16. Jahrhunderts in Pforzheim, meist als Handwerker. Ein Zweig der Familie siedelte sich in Heidelberg an, wo die Mutter Friederike geboren wurde. Nach dem frühen Tod des Vaters wuchs Kopff in der Obhut der Mutter auf. Für Mutter und Sohn war das sicher eine schwere Zeit, denn die Mutter war „auf ihrer Hände Arbeit angewiesen“, wie Kopff es ausdrückt. Vermutlich wurden Mutter und Sohn aber auch von Mitgliedern der Familie Hartenstein unterstützt, von denen eine Reihe in Heidelberg als Schlossermeister, Maurer und Lokomotivführer wohnten.

Seit 1888 besuchte Kopff die Volksschule, ab 1891 oder 1892 die Oberrealschule in Heidelberg. Im Jahr 1900 bestand er sein Abitur.

Während seiner Schulzeit erfuhr Kopff durch zwei seiner Lehrer besondere Förderung: Erstens durch den Reallehrer Joseph Riegel, und zweitens durch den Professor an der Oberrealschule, Dr. Julius Ruska (1867-1949). Ruska war Orientalist und Wissenschaftshistoriker. Ab 1927 leitete er als Direktor und Honorarprofessor der Universität das Berliner Forschungsinstitut für Geschichte der Naturwissenschaften. Julius Ruska war der Vater des Nobelpreisträgers Ernst Ruska (1906-1988), dem Erfinder des Elektronenmikroskops.

Bereits als Schüler interessierte sich Kopff für Astronomie und durfte Max Wolf (1863-1932), dem späteren Direktor der Heidelberger Sternwarte und Doktorvater von Kopff, in dessen Privatsternwarte in der Heidelberger Märzgasse helfen.

Ab Wintersemester 1900/1901 studierte Kopff an der Heidelberger Universität. Er hat als Student die Universität nicht gewechselt. Ein solcher Wechsel, der damals eigentlich üblich war, scheiterte vermutlich hauptsächlich an Geldfragen. Kopff legte sein Studium breit an und strebte zunächst das Lehramt an Gymnasien an. Er hörte Vorlesungen in Mathematik, Physik, Zoologie und Botanik, später auch in Astronomie und Meteorologie.

1904 legte er das Staatsexamen für das höhere Lehramt ab und wurde im gleichen Jahr Lehramtspraktikant an der Oberrealschule in Pforzheim, wo seine Mutter Verwandte hatte. Er beschloß dann aber, sich ganz der Astronomie zu widmen, denn Wolf hatte ihm eine bezahlte Stellung als Assistent an der Heidelberger Sternwarte angeboten.

Zunächst mußte Kopff aber noch im Herbst 1905 seinen Militärdienst ableisten.

Kopff wohnte nach dem Tode seines Vaters mit seiner Mutter seit 1890 in der Bergheimer Str. 17, bis er 1906 in die Sternwarte auf dem Königstuhl umzog.

Zeitlich vorausgreifend wollen wir hier bereits berichten, daß Kopff am 2. Juni 1914 (also zwei Monate vor Ausbruch des Ersten Weltkriegs) Margarethe Hormuth (1891-1943) heiratete. Ihre Vorfahren stammten aus einer Landwirtschaftsfamilie. Das Ehepaar Kopff hatte zwei Söhne, Otto (geboren 1917) und Walter (geboren 1920). Margarethe Kopff starb am 16. August 1943. Kopff hat nicht wieder geheiratet. Er lebte aber seit 1945 mit Helene Nowacki (1904-1972, siehe Kapitel 11.17 von Wielen R. und Wielen U. 2012a), einer Mitarbeiterin des Astronomischen Rechen-Instituts seit 1928, zusammen.

## 2.2 Tätigkeit an der Heidelberger Sternwarte und der Heidelberger Universität 1906-1914

Seine berufliche Laufbahn als Astronom begann Kopff an der Heidelberger Sternwarte, als er 1905 dort zum Ersten Assistenten ernannt wurde.

Kopff hatte aber schon vorher mit Max Wolf<sup>1</sup> zusammengearbeitet: Bereits als Schüler durfte er in Wolfs Privatsternwarte in der Märzgasse helfen. Im Jahr 1900 hat Kopff laut Tätigkeitsbericht der Sternwarte „vorübergehend“ auf dem Königstuhl beobachtet. Zu Beginn des Jahres 1901 trat er als Zweiter Assistent in die Astrophysikalische Abteilung der Großherzoglichen Sternwarte Heidelberg ein und verblieb in dieser Position bis 1902. Im Jahr 1904 übernahm Kopff „aus Hilfsweise“ den Posten des Ersten Assistenten. In diese Stelle trat er dann 1905 unbefristet ein.

Am 26. Juli 1906 promovierte Kopff an der Heidelberger Universität mit einer Arbeit „Über den Nebel der Nova Persei“. Kurz darauf, am 20. Juli 1907, habilitierte er hier auch. Seine Habilitationsschrift trug den Titel „Über den Schweif des Kometen 1892 I (Swift)“. Im Sommersemester 1908 ist dann erstmals eine Vorlesung von Kopff (als Privat-Dozent) im Vorlesungsverzeichnis der Universität Heidelberg angekündigt.

---

<sup>1</sup>Max Wolf (1863-1932). Er hatte 1888 in Heidelberg promoviert und sich hier 1890 habilitiert. Seine Beobachtungen führte er zunächst in seiner Privatsternwarte in der Märzgasse aus. Dort wirkte er als Pionier der Anwendung der Photographie auf astronomische Probleme. 1893 wurde er zum außerordentlichen Professor und 1896 zum Vorstand der Astrophysikalischen Abteilung der neuen Sternwarte auf dem Königstuhl ernannt. 1901 erhielt er in Heidelberg den Lehrstuhl für Astrophysik und Geophysik. Nach der 1909 erfolgten Emeritierung von Wilhelm Valentiner (1845-1931), der die astrometrische Abteilung der Sternwarte geleitet hatte, übernahm Wolf das Direktorat über die gesamte Sternwarte. Kopff war offensichtlich der Lieblingsschüler von Wolf. Zu Wolf siehe u.a. Kopff (1933b, 1933c) und Freiesleben (1962).



Fig. 1. August Kopff im Februar 1914. Ausschnitt aus einem Gruppenphoto, das auf der Heidelberger Sternwarte aufgenommen wurde. Quelle des Gruppenphotos: Nachlass von Max Wolf. HeidICON, Bild-ID 87021, Inv.-Nr./Sign. Heid. Hs. 3695/B,21 ©Universitätsbibliothek Heidelberg.

1912 lehnte Kopff einen Ruf nach Santiago de Chile ab. Am 18. November 1912 wurde er zum außerordentlichen Professor an der Universität Heidelberg ernannt. Das entspricht heute einem außerplanmäßigen Professor. Es handelte sich dabei um keine eigentliche Stelle an der Universität. Kopff erhielt von der Universität nur Hörengelder für seine Lehrveranstaltungen. Sein Gehalt bezog er weiterhin als Mitarbeiter der Sternwarte. Dort war er im August 1912 zum „etatmäßigen zweiten Beamten“ ernannt worden (erster Beamter war Wolf als Direktor).

Kopff war an der Sternwarte sowohl beobachterisch als auch theoretisch tätig. Als Beobachter nahm er an vielen der großen Beobachtungsprogramme des Observatoriums teil. Insbesondere beteiligte er sich an der Suche und der fortlaufenden Beobachtung Kleiner Planeten. In den Jahren 1904 bis 1907 entdeckte Kopff 67 Asteroiden. Darunter war am 12. Mai 1907 der Kleine Planet (634) Ute<sup>2</sup>.

Bereits in jungen Jahren wurde Kopff bekannt durch die Entdeckung zweier Kometen auf photographischen Platten: Komet 1905 IV (Kopff) und Komet 1906 IV (Kopff). Der Komet 1906 IV gehört zu den relativ seltenen Objekten mit kurzer Bahnperiode. Daher trägt dieser Komet auch die Bezeichnung 22P/Kopff als periodischer Komet. Er besitzt eine Umlaufzeit von nur ungefähr 6 Jahren und ist daher schon mehrfach wieder erschienen und dabei intensiv beobachtet worden. Um das Jahr 1990 wurde sogar eine Weltraummission zum Kometen 22P/Kopff geplant, der sogenannte „Comet Rendezvous Asteroid Flyby (CRAF)“. Die Mission kam aber nicht zustande. Spätere Missionen flogen oder fliegen zu anderen Kometen.

Neben den photographischen Beobachtungen von Asteroiden und Kometen beobachtete Kopff seit 1910 auch am großen Repsoldischen Meridiankreis der Heidelberger Sternwarte, der bis 1909 zur astrometrischen Abteilung der Sternwarte unter Valentiner gehört hatte und der daher für Kopff als Mitarbeiter der astrophysikalischen Abteilung von Wolf bis dahin wohl „fremdes Terrain“ war.

Auf theoretischem Gebiet standen für Kopff Untersuchungen der Bewegungen im Schweif von Kometen im Vordergrund.

---

<sup>2</sup>Kopff ehrte damit die Verlobte seines Freundes Philipp Kessler, dem er ebenfalls als Verlobungsgeschenk einen Asteroiden widmete, (631) Philippina. Natürlich freut sich die Autorin Ute W. besonders darüber, daß gerade Kopff diesen Asteroiden entdeckt und Ute genannt hat. Übrigens trägt der Kleine Planet (4548) den Namen „Wielen“.

## 2.3 Militärdienst im Ersten Weltkrieg 1914-1918

Kurz nach Beginn des Ersten Weltkriegs im August 1914 wurde Kopff zum Militärdienst eingezogen und verblieb dort bis zum Ende des Krieges 1918.

Kopff war in diesem Krieg in leitender Stellung beim Heereswetterdienst tätig. In seinen Notizen von 1936 bezeichnet er seine Stellung als „Leiter des Feldwetterdienstes“. Der Feldwetterdienst beriet die Truppen bei Kampfeinsätzen in Bezug auf die zu erwartende Wetterlage. Da Kopff neben Astronomie auch Meteorologie bei Wolf studiert hatte und weil an die Heidelberger Sternwarte eine meteorologische Station angeschlossen war, erwies sich Kopff als für den Wetterdienst des Heeres bestens qualifiziert. Ferner waren beobachtende Astronomen wie Kopff und Wolf schon für ihre eigene Arbeit am Fernrohr gewohnt, zumindest eine gute kurzfristige Wettervorhersage zu erstellen, denn sie wollten im eigenen Interesse nachts weder unnötig wach bleiben noch im Laufe der Nacht ein Aufklaren verpassen.

Kopff war auch beratend für die Artillerie tätig. Grund war sicher, daß die Bahn eines Artillerie-Geschosses vom Wetter beeinflußt wird, nämlich vom Wind und dem Luftwiderstand, der von Temperatur und Luftdruck abhängt. Hier gibt es eine Parallele zum Astronomen Karl Schwarzschild (1873-1916). Auch er leitete zunächst eine Heereswetterstation und wurde später einem Stab der Artillerie zugeteilt. Schwarzschild beschäftigte sich sogar wissenschaftlich mit Fragen der Artillerie und schrieb 1915 eine Arbeit „Über den Einfluß von Wind und Luftdichte auf die Flugbahn der Geschosse“, die aber wegen ihrer militärischen Bedeutung erst 1920 veröffentlicht werden durfte (Schwarzschild 1920).

Während seines Militärdienstes traf Kopff auch den Astronomen, Geophysiker und Meteorologen Alfred Wegener (1880-1930). Wegener hatte 1905 bei dem damaligen Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts in Berlin, Julius Bauschinger (1860-1934), in Astronomie mit einer Arbeit über „Die Alfonsinischen Tafeln für den Gebrauch eines modernen Rechners“ promoviert. Später wandte er sich der Meteorologie und der Geophysik zu. Heute ist er weltberühmt als Begründer der Theorie der Kontinentaldrift (Plattentektonik). Wegener war nach zwei schweren Verwundungen als Infanterie-Offizier zum Heereswetterdienst abkommandiert worden. Kopff hat seine Erinnerungen an das Zusammentreffen mit Wegener in seinem Nachruf auf Wegener geschildert (Kopff 1931). Kopff berichtet dabei unter anderem, daß Wegener gesagt habe, er betrachte sich sein Leben lang als Jünger der Astronomie.

Kopffs Einsatzgebiete waren die Westfront und der Balkan. Zwei seiner Einsatzorte können wir sogar anhand von Buchkäufen räumlich und zeitlich bestimmen. Im Sommer 1917 kaufte er in Straßburg das Buch „Das Relativitätsprinzip“ (Laue 1913). Im Juli 1918 erhielt er das bestellte Buch über

Allgemeine Relativitätstheorie von Weyl (1918). Es wurde ihm durch den Heereswetterdienst nach Conflans, einem Ort in Lothringen, geliefert.

Der Kauf der Bücher über die Relativitätstheorie zeigt, daß Kopff gewillt war, während seines Kriegsdienstes sein Wissen auf diesem Gebiet auszubauen. Vielleicht war die wissenschaftliche Betätigung für Kopff auch eine willkommene Ablenkung von den Schrecken des Krieges. Natürlich konnte Kopff während seines Militärdienstes in freien Stunden nur theoretische Studien durchführen. Insofern war das Einarbeiten in die Relativitätstheorie für Kopff auch eine sinnvolle Vorbereitung für die erhoffte Fortführung seiner wissenschaftlichen Arbeiten nach Kriegsende. Da Kopff Ende 1918 unverletzt aus dem Krieg heimkehrte, ist das auch so eingetreten. Denn bereits im Wintersemester 1919/1920 hielt Kopff seine erste Vorlesung über Relativitätstheorie (siehe Kapitel 4.3.1), und 1922 beteiligte er sich an einer Sonnenfinsternis-Expedition zur Messung der relativistischen Lichtablenkung an der Sonne (Kapitel 4.5).

## **2.4 Tätigkeit an der Heidelberger Sternwarte und der Heidelberger Universität 1918-1924**

Nach seiner Rückkehr aus dem Ersten Weltkrieg nahm Kopff sofort wieder seine Arbeit an der Heidelberger Sternwarte und als Dozent an der Universität auf.

Als Beobachter konzentrierte er sich auf Messungen am Meridiankreis. Dabei standen grundsätzliche methodische Fragestellungen der Meßtechnik im Vordergrund. An der mehr routinemäßig durchgeführten photographischen Astrometrie hat er sich offenbar nicht mehr beteiligt.

Auf dem Gebiet der Theorie hat er sich neuen Arbeitsfeldern zugewandt. Sie lagen hauptsächlich im Bereich der Stellarstatistik mit Anwendungen auf die Milchstraße und auf Kugelsternhaufen.

Einen großen Teil seiner Arbeitszeit nahm seit 1919 die Relativitätstheorie ein. Auf dem Gebiet der Theorie konzentrierte er sich auf die Vorbereitung und Durchführung seiner Vorlesungen zur Speziellen und Allgemeinen Relativitätstheorie (siehe Kapitel 4.3). Das sichtbarste Ergebnis seiner Arbeiten ist sein Lehrbuch „Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie“, das 1921 in 1. Auflage und 1923 in 2. Auflage erschien (siehe Kapitel 4.4). Daneben erschienen von Kopff zwischen 1920 und 1924 eine größere Zahl kürzerer Artikel zur Relativitätstheorie.

Auch zur beobachterischen Bestätigung der Allgemeinen Relativitätstheorie wollte Kopff einen Beitrag leisten und beteiligte sich 1921 und 1922 an der Vorbereitung und Durchführung einer Sonnenfinsternis-Expedition zur Messung der Lichtablenkung an der Sonne (siehe Kapitel 4.5). Leider war das Wetter am Finsternistag, dem 21. November 1922, am gewählten Beobachtungsort, der Weihnachtsinsel im Indischen Ozean, so schlecht, daß keine Resultate zur Lichtablenkung erhalten werden konnten.

Im Jahr 1924 nahm Kopff den Ruf nach Berlin als Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts an (siehe folgendes Kapitel) und schied damit aus der Sternwarte aus. Wolf schreibt am Beginn seines Tätigkeitsberichts für 1924 einen Satz, wie man ihn sonst eher aus Nachrufen auf Verstorbene kennt: „Im Jahr 1924 erlitten wir [*d.h. die Heidelberger Sternwarte*] durch die ehrenvolle Berufung von Prof. Kopff nach Berlin einen schmerzlichen Verlust.“



Fig. 2. August Kopff im März 1921. Ausschnitt aus einem Gruppenphoto, das auf der Heidelberger Sternwarte aufgenommen wurde. Quelle des Gruppenphotos: Nachlass von Max Wolf. HeidICON, Bild-ID 87005, Inv.-Nr./Sign. Heid. Hs. 3695/B,19 ©Universitätsbibliothek Heidelberg.

## 2.5 Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts in Berlin und Sermuth und Tätigkeit an der Berliner Universität 1924-1945

Kopff wurde am 26. Juli 1924 zum ordentlichen Professor für Theoretische Astronomie der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin und zugleich zum Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts ernannt. Die Vorgeschichte seiner Berufung haben wir in einem unserer früheren Bücher (Wielen R. und Wielen U. 2012a, Kapitel 2.1) geschildert.



Fig. 3. August Kopff (um 1930).

Quelle: Porträtgalerie der Astronomischen Gesellschaft. 1931.

Neben seiner Tätigkeit als Hochschullehrer bestand die Hauptaufgabe von Kopff in Berlin in der Leitung des Astronomischen Rechen-Instituts. Das Institut befand sich seit 1911 in einem extra für das Institut errichteten Gebäude in Dahlem, Altensteinstraße 40.

Die Geschichte und die Aufgaben des Astronomischen Rechen-Instituts haben wir in früheren Büchern ausführlich dargelegt (Wielen R. und Wielen U. 2010a, 2011a, 2011c, 2012a), meist anhand von Dokumenten, die sich erfreulicherweise im Archiv des Instituts erhalten haben und die bis 1700 zurückreichen (Wielen 2001). Wir wollen daher hier nur einen kurzen Abriß der Geschichte und der Aufgaben des Instituts geben.

Das Institut führt seinen Ursprung auf das Kalender-Patent des Brandenburgischen Kurfürsten Friedrich III. (den späteren König Friedrich I. in Preußen) vom 10. Mai 1700 zurück (Wielen 2001). In diesem Edikt führte der Kurfürst in seinen Landen einen neuen Kalender ein, der weitgehend dem Gregorianischen Kalender entsprach. Zur Berechnung dieses Kalenders wurden Astronomen eingestellt und ein Observatorium in Berlin gegründet. Ab 1774 gaben die Astronomen der Preußischen Akademie der Wissenschaften zusätzlich zum Kalender ein ausführliches und genaueres astronomisches Jahrbuch heraus, das bis 1959 in 184 Jahrgängen erschien. Ab 1830 trug es den Titel „Berliner Astronomisches Jahrbuch“. Das Jahrbuch enthielt genaue Vorhersagen („Ephemeriden“) der Positionen („Örter“) von Sonne, Mond, Planeten, später auch Kleinen Planeten, und von ausgewählten Fixsternen.

1874 wurde die Berliner Sternwarte in zwei Abteilungen geteilt: in einen beobachtenden Teil und in einen theoretischen Teil, der den Namen „Rechen-Institut der Königlichen Sternwarte zu Berlin“ trug. 1896/1897 wurde dieser Teil dann als „Königliches Astronomisches Rechen-Institut“ eine selbständige Einrichtung. Es besaß seit 1874 ein eigenes Gebäude auf dem Gelände der Sternwarte in Berlin-Kreuzberg in der Lindenstraße. 1911 wurde das Institut in einen Neubau in Berlin-Dahlem verlegt. Angeschlossen an das Institut war ein „Seminar zur Ausbildung von Studierenden im wissenschaftlichen Rechnen“.

Die Hauptaufgabe des Astronomischen Rechen-Instituts bestand jahrzehntelang in der Berechnung der Ephemeriden für das Jahrbuch. Eine weitere Aufgabe des Instituts bestand in der Aufstellung sogenannter Fundamental-Kataloge von Sternen. Ein solcher Katalog enthält die genauen Positionen und Eigenbewegungen ausgewählter Sterne (der sogenannten Fundamentalsterne). Er definiert dadurch das astronomische Bezugssystem am Himmel und soll möglichst gut ein rotationsfreies und unverzerrtes Koordinatensystem im Sinne eines Inertialsystems darstellen. In seiner Berliner Zeit erarbeitete Kopff mit seinen Mitarbeitern am Institut den Dritten Fundamental-Katalog (FK3; Kopff 1937b, 1938a), der 1935 von der Internationalen Astronomischen Union als allgemein verbindlich akzeptiert wurde.

Weitere Aufgaben des Instituts in Berlin waren die Wahrnehmung der Aufgaben einer weltweiten Zentralstelle für Kleine Planeten und die jährliche Herausgabe der weltweiten astronomischen Bibliographie „Astronomischer Jahresbericht“. Daneben wurden aber auch andere Arbeiten aus verschiedenen Gebieten der Astronomie und Astrophysik publiziert, insbesondere auch stellardynamische Arbeiten. Kopff wirkte bis 1928 aber auch an der Herausgabe eines Lehr- bzw. Handbuchs der Astronomie und Astrophysik mit, das auch die Relativitätstheorie umfaßte (siehe Kapitel 4.6).

Bezug zur Relativitätstheorie hatte aber auch folgende Angelegenheit: Als Kopff im Juli 1924 Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts wurde, bekam er in Riem<sup>3</sup> einen Mitarbeiter, der seit 1920 ein vehementer Gegner der Einsteinschen Relativitätstheorie war. Einer der ersten Angriffe Riems erschien 1920 in der Zeitschrift „Die Umschau“ (Band 24, S. 583) unter dem Titel „Gegen den Einsteinrummel“. Später hat Riem vor allem gegen Einstein gerichtete Zeitungsartikel veröffentlicht. Als Beispiel zitieren wir aus dem Artikel „Die Einsteinschen Phantasien. Sonnenfinsternisbeobachtungen und Einstein-effekt.“ der Berliner „Deutschen Zeitung. Unabhängiges Tageblatt für nationale Politik.“ vom 27. April 1923<sup>4</sup>. Dort lautet der letzte, gesperrt gedruckte Satz: „Und darum ist auch diese [*Einsteinsche Relativitäts-*]Theorie gar keine Naturwissenschaft, sondern ein auf höchst zweifelhafter Grundlage erbautes Phantasiegebilde.“. Wir wissen nicht, wie Kopff auf Riems Attacken gegen Einstein reagiert hat. Aber nach 1924 kennen wir keine Veröffentlichungen Riems mehr gegen die Relativitätstheorie. Vermutlich war Riem zwar nicht durch Kopffs Sachargumente überzeugt worden, aber Riem erschien wohl eine Konfliktvermeidungsstrategie angebracht.

Im September 1932 nahm Kopff als einziger deutscher Astronom an der IV. Generalversammlung der Internationalen Astronomischen Union (IAU) in Cambridge, Massachusetts (USA) teil. Das war insofern etwas Besonderes, weil Deutschland erst 1953 Mitglied der IAU wurde.

Anfang 1933 lehnte Kopff einen Ruf nach Heidelberg als Nachfolger von Max Wolf (1863-1932) auf das Ordinariat für Astronomie und als Direktor der Heidelberger Sternwarte ab. Man kann sich vorstellen, daß ihm diese Entscheidung aus persönlichen Gründen sehr schwer fiel, weil Heidelberg ja seine Heimatstadt war und er auf der dortigen Sternwarte lange unbeschwert gearbeitet hatte. Aber wissenschaftliche Gründe, besonders die laufenden Arbeiten am Dritten Fundamentalkatalog FK3, sprachen stark für sein Verbleiben in Berlin. Daß das Schicksal ihn später doch wieder nach Heidelberg zurückführen würde, war damals nicht abzusehen.

Im Jahr 1936 erfuhr Kopff zwei besondere Ehrungen: Zu Beginn des Jahres wurde Kopff zum ordentlichen Mitglied der physikalisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Preußischen Akademie der Wissenschaften gewählt. Der Vorsitzende Sekretar der Akademie, Max Planck (1858-1947), unterrichtete Kopff von dessen Wahl und von ihrer Bestätigung durch die Preußische Regierung in seinem Schreiben vom 10. Februar 1936. Diesen Brief haben wir in Kapitel 10.26 von Wielen R. und Wielen U. (2012a) beschrieben und als Scan in Kapitel 3.26 von Wielen R. und Wielen U. (2012b) wiedergegeben. Am 2. Juli

---

<sup>3</sup>Johannes Riem (1868-1945), Observator und Professor am Astronomischen Rechen-Institut. Kurzlebenslauf in Kapitel 11.21 von Wielen R. und Wielen U. (2012a). Nekrolog: Kahrstedt (1947).

<sup>4</sup>Dieser Artikel ist als Scan in der Datenbank ECHO beim Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte als Teil der „Gehrcke Newspaper Collection“ einsehbar

1936 hielt Kopff seine Antrittsrede vor der Akademie, worin er auch seinen Werdegang und die Aufgaben des Astronomischen Rechen-Instituts schilderte (siehe Kapitel 10.28 von 2012a und Kapitel 3.28 von 2012b). In seiner Erwiderung hat der amtierende Sekretar der Akademie, Heinrich von Ficker<sup>5</sup>, Kopff unter anderem für sein Buch zur Relativitätstheorie (Kopff 1921a, 1923a) sehr gelobt: „Neben vielen Einzeluntersuchungen verdanken wir Ihrer Heidelberger Zeit auch ein ausgezeichnetes Lehrbuch der Relativitätstheorie, in dem naturgemäß die astronomischen Folgerungen ausführlich behandelt werden und das, bei aller Strenge, auch für Nichtspezialisten verständlich ist.“. Fickers so deutliches Lob einer Veröffentlichung zu Einsteins Relativitätstheorie war 1936 eher ungewöhnlich.

Ebenfalls 1936 ehrte die englische Royal Astronomical Society Kopff dadurch, daß er am 10. Juni 1936 in London die „George Darwin Lecture“ halten durfte. Er wählte den Titel „Star Catalogues, especially those of fundamental Character“. Diese Auszeichnung und die damit verbundenen guten Kontakte nach England erleichterten Kopff sicher nach 1945 die Weiterführung des Astronomischen Rechen-Instituts in Heidelberg.

In der schwierigen Zeit von 1939 bis 1945 war Kopff Vorsitzender der Astronomischen Gesellschaft (AG).

Die astronomischen Ephemeriden des Jahrbuchs waren nicht nur wissenschaftlich wichtig, sondern dienten auch als Grundlage der Navigation. Nach Ausbruch des Zweiten Weltkriegs 1939 waren Marine, Luftwaffe, aber auch das Heer auf die Weiterführung der Ephemeriden-Arbeiten des Instituts dringend angewiesen. Das Institut wurde daher zunächst als „Kriegswichtiger Betrieb I. Ordnung“ eingestuft und schließlich 1944 der Kriegsmarine unterstellt. Es trug nun bis Kriegsende den Namen „Astronomisches Recheninstitut der Kriegsmarine“. Erstaunlicherweise ging aber trotz des Zweiten Weltkriegs die Zusammenarbeit des Astronomischen Rechen-Instituts mit den Ephemeriden-Instituten von England und den USA fast normal weiter, weil der Direktor der Stockholmer Sternwarte, Bertil Lindblad, als neutraler Vermittler fungierte (siehe Wielen R. und Wielen U. (in Vorbereitung)).

Als Berlin immer stärker bombardiert wurde und die Gefahr bestand, daß das Institut zerstört oder wenigstens in seiner Arbeitsfähigkeit stark beeinträchtigt werden könnte, wurde das Institut im August 1944 aus Berlin nach Sermuth, einem kleinen Ort in Sachsen, evakuiert. Dort erlebte das Institut das Ende des Krieges.

Der größte Teil von Sermuth wurde zunächst von amerikanischen Truppen besetzt. Es war aber mit der Sowjetunion vereinbart worden, daß das

---

<sup>5</sup>Der Meteorologe Heinrich von Ficker (1881-1957) war von 1932 bis 1937 (neben Max Planck) Sekretar der Physikalisch-mathematischen Klasse der Akademie

Gebiet, in dem Sermuth liegt, später Teil der sowjetischen Besatzungszone werden sollte. Vor dem Rückzug der amerikanischen Truppen hatte allerdings das Alliierte Oberkommando einen Geheimbefehl erlassen, daß alle in diesem Gebiet befindlichen deutschen Wissenschaftler und Techniker, die den USA und Großbritannien nützlich sein könnten, in die westlichen Besatzungszonen zu evakuieren seien. Daher wurde der Hauptteil des Astronomischen Rechen-Instituts von den Amerikanern von Sermuth nach Heidelberg umgesiedelt. Nur ein kleiner Teil der Mitarbeiter des Instituts, die sich bei Kriegsende im sowjetisch besetzten Teil von Sermuth befanden, gründeten einen östlichen Teil des Instituts, der sich seit 1946 in der Sternwarte Babelsberg in Potsdam bei Berlin befand und noch bis 1956 bestand.

Am 20. Juni 1945 verließen Kopff und die Mehrzahl der Mitarbeiter des Astronomischen Rechen-Instituts auf Lastwagen den Ort Sermuth in Richtung Heidelberg. Eine längere Zwischenstation des Trecks war Würzburg. Ende Juni wurde Heidelberg glücklich erreicht.

## **2.6 Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts in Heidelberg, Direktor der Heidelberger Sternwarte und Tätigkeit an der Heidelberger Universität ab 1945**

Seit dem 30. Juni 1945 befindet sich das Astronomische Rechen-Institut in Heidelberg. Kopff begann sofort damit, die administrative, finanzielle, räumliche und ausstattungsmäßige Zukunft des Instituts in Heidelberg sicherzustellen. Dies ist Kopff trotz aller Schwierigkeiten hervorragend gelungen. Dabei ist Kopff sein hohes internationales Ansehen sicher zugute gekommen. Ohne Kopffs vielfältigen Einsatz in dieser schweren Zeit würde das Astronomische Rechen-Institut heute mit höchster Wahrscheinlichkeit nicht mehr existieren.

Die Details zur Ansiedlung des Astronomischen Rechen-Instituts in Heidelberg haben wir in einem unserer Bücher ausführlich und anhand von zahlreichen Dokumenten beschrieben (Kapitel 7 von Wielen R. und Wielen U. 2012a). Wir geben die Heidelberger Geschichte des Instituts unter Kopff daher hier auch nur in kurzer Form wieder.

Die für Heidelberg zuständige amerikanische Militärregierung unterstützte die Wiederaufnahme der Arbeiten des Instituts in vollem Umfang. Die große Wertschätzung, die die amerikanischen Astronomen Kopff entgegenbrachten, wird dadurch deutlich, daß er im Juni 1949 von der American Astronomical Society zum Ehrenmitglied („Honorary Member“) ernannt wurde. Aber auch englische Stellen setzten sich intensiv für die Belange des Instituts ein. Eine eindrucksvolle Episode dazu schildern wir später in Kapitel 4.5.4, Punkt(1).

Von der Universität Heidelberg wurde das Institut räumlich und administrativ unterstützt. Auch die Heidelberger Sternwarte stellte dem Institut Räume und seine Bibliothek zur Verfügung.

Die Finanzierung der Arbeit des Instituts war zunächst eines der schwierigsten Probleme. 1946 wurden dem Institut von der zuständigen Landesregierung erste Geldmittel bewilligt. 1947 wurde es endlich in den regulären Haushaltsplan des Landes Württemberg-Baden aufgenommen. Ab 1949 (bis 1977) wurde das Institut im Rahmen des sogenannten „Königsteiner Staatsabkommens“ von den Bundesländer gemeinsam finanziert. Danach war es ein Forschungsinstitut des Landes Baden-Württemberg. 2005 wurde das Institut Teil des Zentrums für Astronomie der Universität Heidelberg.

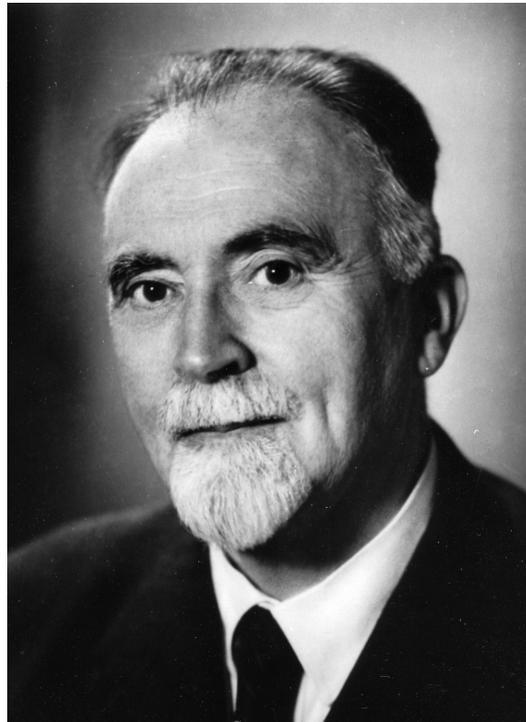


Fig. 4. August Kopff um 1950.  
Quelle: Photo (undatiert, vermutlich um 1950)  
im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts.

Bereits im Dezember 1945 hatte Kopff einen Lehrauftrag der Universität Heidelberg für zwei 2-stündige astronomische Vorlesungen erhalten.

Die Stelle des Direktors der Heidelberger Sternwarte und der Lehrstuhl für Astronomie der Universität waren seit der 1945 aus politischen Gründen erfolgten Entlassung von Heinrich Vogt (1890-1968) unbesetzt. Auf diese Stelle

wurde nun Kopff berufen. Am 1. März 1947 wurde er zum Ordinarius für Astronomie der Universität Heidelberg und zum Direktor der Heidelberger Sternwarte ernannt. Kopff blieb aber zugleich Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts. Durch Kopffs Mehrfachfunktion erhielt das Institut auch zusätzliche Räume auf der Sternwarte.

Kopff wurde nach Überschreiten der entsprechenden Altersgrenze am 8. Dezember 1950 als ordentlicher Professor für Astronomie der Universität Heidelberg und als Direktor der Landessternwarte emeritiert. Kopff blieb aber wunschgemäß Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts, und zwar bis zum 1. Dezember 1954.

Kopffs Hauptaufgabe nach Kriegsende war die Wiederherstellung der Arbeitsfähigkeit des Astronomischen Rechen-Instituts und ab 1947 die zusätzliche Leitung der Sternwarte. In wissenschaftlicher Hinsicht war seine größte Leistung in seiner zweiten Heidelberger Zeit die Ergänzung des Dritten Fundamental-Katalogs FK3 (Kopff 1953a, 1953b, 1955, Astronomisches Rechen-Institut 1957a, 1957b) und die anschließende Erarbeitung des Vierten Fundamental-Katalogs FK4. Obwohl der FK4 erst drei Jahre nach Kopffs Tod erschien (Fricke, Kopff et al. 1963, Astronomisches Rechen-Institut 1963), ist die Hauptarbeit am FK4 von Kopff und seinen eingearbeiteten Mitarbeitern geleistet worden.

Am 25. April 1960 verstarb August Kopff in Heidelberg im Alter von 78 Jahren.

## 3 Zeittafel zur Relativitätstheorie

### 3.1 Daten zur Relativitätstheorie

Um die Aktivitäten von Kopff auf dem Gebiet der Relativitätstheorie zeitlich richtig einordnen zu können, geben wir eine kurze Zeittafel zur Relativitätstheorie. Die Tafel erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll nur an wichtige Schritte bei der Aufstellung der Relativitätstheorie erinnern, soweit diese in unserem Zusammenhang relevant sind.

**1905:** Einstein veröffentlicht seine erste Arbeit zur Speziellen Relativitätstheorie (Einstein 1905).

**1911:** Einstein weist darauf hin, daß die Lichtablenkung an der Sonne ein astronomischer Test der Relativitätstheorie ist (Einstein 1911).

**1913:** Freundlich (1913) beschreibt seine ersten Versuche, die Lichtablenkung bei Sonnenfinsternissen nachzuweisen.

**1915:** Einstein (1915a-d) veröffentlicht die Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie. Ihre (genäherte) Lösung gibt die Periheldrehung des Merkur korrekt wieder.

**1916:** Schwarzschild (1916a, b) findet die exakte Lösung der Feldgleichungen für eine isolierte, nichtrotierende Kugel (Schwarzschild-Metrik)

**1917:** Einstein (1917a) wendet die Allgemeine Relativitätstheorie auf die Kosmologie an. Um ein stationäres Universum zu erreichen, muß er in die Feldgleichungen ein Zusatzglied mit der Kosmologischen Konstanten „lambda“ ( $\lambda$ , heute meist als Großbuchstabe  $\Lambda$  geschrieben) einfügen.

**1917:** De Sitter (1917) beschreibt eine Lösung der Feldgleichungen, die einem leeren, expandierenden Universum entspricht (de Sitter-Kosmos).

**1918:** Thirring (1918) und Lense und Thirring (1918) ermitteln eine Näherungslösung der Feldgleichungen für den Fall eines rotierenden Körpers (Lense-Thirring-Effekt; frame dragging).

**1919:** Die Ergebnisse der englischen Sonnenfinsternis-Expeditionen (Dyson, Eddington und Davidson 1920) bestätigen (im Rahmen der Meßgenauigkeit) die von Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie vorausgesagte Lichtablenkung.

**1922:** Friedmann (1922, 1924) findet die allgemeinen Lösungen der Feldgleichungen für einen nichtstationären, homogenen, isotropen Kosmos unterschiedlicher Krümmung für beliebige Werte von  $\Lambda$  (Friedmann-Lösungen).

**1927:** Lemaître (1927) begründet die Theorie eines aus einem Urknall entstehenden Universums.

**1932:** Einstein und de Sitter (1932) publizieren für den Fall  $\Lambda = 0$  ein Modell des Universums, das räumlich flach (ungekrümmt) ist und dauerhaft expandiert (Einstein-de Sitter-Modell).

**1963:** Kerr (1963) findet eine exakte Lösung der Feldgleichungen für eine isolierte, rotierende Masse (Kerr-Metrik).

## 3.2 Daten zu Albert Einstein

Bücher und Schriften über Albert Einstein als Person gibt es in großer Zahl. Wir nennen als Beispiele die Biographien in deutscher Sprache von Pais (1986), Fölsing (1993), und Neffe (2005). Wir wollen daher hier nur an einige Daten in Einsteins Leben erinnern, die für die zeitliche Einordnung der Arbeiten Kopffs hilfreich sein können:

**1879:** Albert Einstein wird am 14. März in Ulm geboren (*Kopff war also nur knapp drei Jahre jünger als Einstein*).

**1902:** Mitarbeiter des Schweizer Patentamts in Bern.

**1905:** Promotion an der Universität Zürich.

**1909:** außerordentlicher Professor an der Universität Zürich.

**1911:** ordentlicher Professor an der deutschsprachigen Karl-Ferdinands-Universität in Prag.

**1912:** ordentlicher Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich.

**1914:** hauptamtlich besoldetes Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin.

**1922:** Nobelpreis für Physik.

**1929:** Bau und Bezug des Sommerhauses in Caputh bei Potsdam.

**1933:** Mitglied des Institute for Advanced Study in Princeton, N.J. (USA).

**1955:** Einstein stirbt am 18. April in Princeton.

## 4 Kopff und die Relativitätstheorie

### 4.1 Kopffs beginnendes Interesse an der Relativitätstheorie und seine intensive Einarbeitung in die Theorie

Wir wissen nicht genau, wann sich Kopff erstmals für die Relativitätstheorie interessiert hat. Es gab in Heidelberg in den Jahren 1909 bis 1912/13 zwei Veranstaltungen zur Relativitätstheorie. Uns liegt aber keine Information vor, ob Kopff, der ab 1906 Privat-Dozent und ab 1912 außerordentlicher Professor für Astronomie an der Universität Heidelberg war, daran teilgenommen hat:

(1) In einem Brief vom 16. Mai 1909 schreibt Jakob Laub<sup>6</sup> an Einstein: „Wir haben (ohne Lenard) ein Privatkolloquium in Pockels<sup>7</sup> Wohnung<sup>8</sup>, wo jetzt die Relativitätstheorie besprochen wird.“.

(2) Im Wintersemester 1912/13 fand an der Universität Heidelberg ein gemeinsames Kolloquium mit dem Titel „Einführung in die Relativitätstheorie“ statt (siehe Kapitel 4.3.6). Veranstalter waren der Theoretische Physiker Pockels und der Mathematiker Boehm<sup>9</sup>.

1911 erschien eine Arbeit von Einstein, in der er erstmals als Test der Relativitätstheorie die Ablenkung des Lichts der Sterne durch das Gravitationsfeld der Sonne vorschlug (Einstein 1911). Als Wert für diese Lichtablenkung am Rand der Sonne sagte Einstein damals 0,83 Bogensekunden voraus und wies darauf hin, daß dies bei einer Sonnenfinsternis astrometrisch nachweisbar sein könnte. Der Berliner Astronom Erwin Freundlich<sup>10</sup> wurde von Einstein persönlich ermuntert, diese Vorhersage zu überprüfen. Er veröffentlichte dazu 1913 einen ersten Bericht in der Zeitschrift „Astronomische Nachrichten“ (Freundlich 1913). Insbesondere die letztere Arbeit könnte die Aufmerksamkeit von Max Wolf, dem Direktor der Heidelberger Sternwarte, und seines Mitarbeiters Kopff auf sich gezogen haben, weil die Heidelberger Sternwarte auf dem Gebiet der Astrometrie, insbesondere auch der photographischen Astrometrie, große Erfahrung besaß.

---

<sup>6</sup>Der Physiker Jakob Johann Laub (1884-1962) hatte 1908 und 1909 insgesamt vier Arbeiten zusammen mit Einstein publiziert. Von 1909 bis 1911 war er am Physikalischen Institut der Universität Heidelberg Assistent von Philipp Lenard.

<sup>7</sup>Friedrich Pockels (1865-1913) war von 1900 bis 1913 etatmäßiger außerordentlicher Professor für Theoretische Physik an der Universität Heidelberg und arbeitete ebenfalls mit Lenard zusammen

<sup>8</sup>Pockels wohnte damals in Heidelberg-Neuenheim, Bergstr. 3, also nahe beim Physikalischen Institut

<sup>9</sup>Karl Boehm (1873-1958) war seit 1904 außerordentlicher Professor für Mathematik an der Universität Heidelberg. 1917 wurde er zum ordentlichen Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe berufen.

<sup>10</sup>Erwin Finlay Freundlich (1885-1964)

Die Vorlesung des Mathematikers Bopp<sup>11</sup> über Relativitätstheorie an der Universität Heidelberg im Wintersemester 1915/16 (siehe Kapitel 4.3.6) hat sich Kopff sicher nicht angehört, schon weil Kopff zu diesem Zeitpunkt Kriegsdienst (siehe Kapitel 2.3) leistete.

Den ersten sicheren Nachweis für Kopffs Interesse an der Relativitätstheorie stellt der Besitzvermerk in seinem Privatexemplar des Buches „Das Relativitätsprinzip“, verfaßt von Max (von) Laue (1913), dar. Dort ist auf dem vorderen Leerblatt vermerkt: „Straßburg, Sommer 1917. Kopff.“. Im Text des Buches gibt es eine große Zahl von handschriftlichen Randnotizen und Unterstreichungen. Sie beweisen, daß Kopff dieses Buch intensiv durchgearbeitet hat und so mit den Details der (Speziellen) Relativitätstheorie voll vertraut wurde.

Das nächste Werk zur Relativitätstheorie, das Kopff eingehend durchgearbeitet hat, ist das Buch „Raum, Zeit, Materie. Vorlesungen über die allgemeine Relativitätstheorie.“ von Weyl (1918). Das Privatexemplar von Kopff trägt auf dem Titelblatt den Vermerk: „Kopff. Juli 1918. Conflans<sup>12</sup>.“ Auch in diesem Buch befinden sich sehr viele Randnotizen von Kopff und zahllose (meist farbige) Unterstreichungen. Kopff hat sich offenbar an Hand dieses Werkes in die mathematisch wesentlich anspruchsvollere Allgemeine Relativitätstheorie eingearbeitet. Ob Kopff das Buch noch im Felde intensiv studiert hat oder die meisten Anmerkungen erst nach seiner Rückkehr im November 1918 nach Heidelberg angebracht hat, konnten wir nicht klären.

Die Zusendung des Buches von Weyl (1918) an Kopff an dessen Militärstandort hatte Freundlich von Berlin aus übernommen. Das geht aus der Postkarte von Freundlich an Kopff vom 15. Juli 1918 hervor (siehe Kapitel 8.2.1). Dabei benutzten sie als wohl sicherste Zustellmöglichkeit eines Buches an die Front den internen Verteilungsweg des militärischen Wetterdienstes, dem Kopff angehörte.

Ein weiteres Werk mit Bezug zur Allgemeinen Relativitätstheorie, das sich Kopff privat anschaffte, war die von Weyl 1919 neu herausgegebene Probevorlesung, die Riemann 1854 in Göttingen anlässlich seiner Habilitation gehalten hatte (Riemann 1919). Riemann hat in dieser Schrift seine Vorstellungen zur Differentialgeometrie in Räumen höherer Dimensionen dargelegt. Weyl hat dem Riemannschen Manuskript ausführliche Erläuterungen beigefügt, die die enge Verbindung der Riemannschen Geometrie zu dem gekrümmten, vierdimensionalen Raum-Zeit-Kontinuum der Allgemeinen Relativitätstheorie herausstellen. Wieder zeigen Randnotizen und Unterstreichungen von Kopff in

---

<sup>11</sup>Karl Bopp (1877-1934). Er studierte Mathematik in Straßburg und Heidelberg, promovierte 1902 in Heidelberg und habilitierte sich hier 1906. Im Jahr 1915 wurde er zum außerordentlichen Professor der Universität Heidelberg ernannt. Sein besonderes Interesse galt der Geschichte der Mathematik.

<sup>12</sup>Wie wir in Kapitel 2.3 ausgeführt haben, ist Conflans ein Ort in Lothringen

diesem Exemplar, wie intensiv Kopff dieses Buch durchgearbeitet hat.

Auch nach dem Beginn seiner Vorlesungen im Wintersemester 1919/20 und dem Erscheinen der ersten Auflage seines Buches 1921 hat sich Kopff noch über viele Jahre hinweg bezüglich der Relativitätstheorie und ihrer astronomischen Anwendungen, insbesondere in der Kosmologie, auf dem Laufenden gehalten. Davon zeugen weitere Bücher und Sonderdrucke aus Kopffs Privatbesitz: Kopff besaß Sonderdrucke der Arbeiten von de Sitter (1916a, 1917), Lenard (1918), von Laue (1920), Einstein (1920, 1921), Kienle (1924a) und Hopmann (1929). Welche davon Kopff direkt von den Autoren erhalten hat und welche er gekauft hat, ist meist nicht ersichtlich. Nur von Laues Sonderdruck enthält am Anfang den gedruckten Zusatz: „M. von Laue. Überreicht vom Verfasser.“.

Bei den weiteren Privatbüchern handelt es sich um folgende Werke: Mach (1921), von Laue (1921b), Lorentz et al. (1922), Eddington (1923b, 1925), de Sitter (1932), und Hubble (1936, 1937). Hierbei ist noch zu berücksichtigen, daß wir sicher nicht alle relevanten Bücher und Schriften aus Kopffs privatem Besitz erfaßt haben. Ferner wird Kopff auch Werke zur Relativitätstheorie aus der Bibliothek der Heidelberger Sternwarte und später aus der des Astronomischen Rechen-Instituts sowie aus anderen Bibliotheken benutzt haben. Allerdings zeigen diese „Fremdbücher“ keine Eintragungen Kopffs, wie er sie bei seinen Privatbüchern meist in so reicher Fülle vorgenommen hat. Sie scheiden daher als Belege für Kopffs Lesetätigkeit aus.

Kopffs Eintritt in die Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG) im Jahre 1920 geht wohl ebenfalls auf sein starkes Interesse an der Relativitätstheorie zurück, denn Astronomen waren damals nur selten Mitglieder der DPG.

## 4.2 Kopff und seine Beziehungen zu Erwin Freundlich

Erwin Freundlich wurde 1885 in Biebrich am Rhein als Sohn des Direktors einer Eisengießerei geboren. Seine Mutter stammte aus Schottland. Ihr Geburtsname war Finlayson. Später führte er daher den Namen „Finlay Freundlich“<sup>13</sup>, zuerst sporadisch, z.B. im Mitgliederverzeichnis der Astronomischen Gesellschaft von 1913 oder in seiner Arbeit von 1923, dann ständig seit 1939. Im Jahr 1910 promovierte Freundlich in Göttingen bei Felix Klein mit einer mathematischen Arbeit. Noch im selben Jahr übernahm er eine Assistentenstelle an der Berliner Sternwarte. Diese Sternwarte wurde 1913 nach Babelsberg bei Potsdam verlegt. Seit 1911 widmete sich Freundlich neben seiner eigentlichen Aufgabe an der Sternwarte auch der beobachtungsmäßigen Bestätigung der Relativitätstheorie (Lichtablenkung an der Sonne; Gravitationsrotverschiebung).

---

<sup>13</sup>Er schrieb seinen ergänzten Namen ohne Bindestrich. In der Literatur ist die Form mit Bindestrich („Finlay-Freundlich“) häufig anzutreffen.

Dazu hielt er engen Kontakt mit Einstein, der erfreut war, daß ein Astronom sich dafür so stark engagierte. Das Engagement Freundlichs für die Relativitätstheorie führte aber zu Spannungen mit dem Direktor der Berliner Sternwarte, Hermann Struve<sup>14</sup>. Daher war Freundlich ab 1918 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an dem von Einstein geleiteten Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Forschung tätig. Seit 1920 hatte Freundlich eine Stelle als Observator am Astrophysikalischen Observatorium Potsdam inne und leitete das von ihm initiierte Einstein-Institut mit dem von Erich Mendelsohn erbauten Einstein-turm. 1922 wurde Freundlich zum Hauptobservator befördert. 1933 mußte er Deutschland verlassen. Danach war er Professor für Astronomie in Istanbul, Prag und St. Andrews (Schottland). Nach seiner Pensionierung lebte Freundlich seit 1959 in Wiesbaden und starb dort 1964. Eine ausführliche Lebens- und Arbeitsbeschreibung Freundlichs gibt Hentschel (1992). Wir verweisen auch auf den Nachruf auf Freundlich von H. von Klüber (1965).

Über den Beginn der Bekanntschaft Kopffs mit Freundlich liegen uns leider keine Informationen vor. Das erste schriftliche Dokument, das wir kennen, ist die von uns in Kapitel 8.2.1 edierte Postkarte von Freundlich an Kopff vom Juli 1918. Der Ton dieses Schreibens ist fast familiär und man gewinnt den Eindruck, daß sich beide schon längere Zeit kannten.

Der erste Kontakt zwischen Freundlich und Kopff könnte ab 1910 dadurch entstanden sein, daß beide astrometrische Messungen an Meridiankreisen durchführten, Kopff an der Heidelberger Sternwarte und Freundlich an der Berliner Sternwarte. Ein Bindeglied zwischen beiden war eventuell Leopold Courvoisier (1873-1955), der von 1898 bis 1905 als Assistent an der von Valentiner geleiteten Astrometrischen Abteilung der Heidelberger Sternwarte gearbeitet hatte und 1905 zum Observator an der Berliner Sternwarte berufen worden war<sup>15</sup>. In Berlin bzw. in Babelsberg arbeitete Freundlich als Beobachter eng mit Courvoisier am Meridiankreis zusammen, und Kopff kannte Courvoisier aus dessen Heidelberger Zeit.

1913 veröffentlichte Freundlich eine Arbeit zur Lichtablenkung an der Sonne in der von allen deutschen Astronomen gelesenen Zeitschrift „Astronomische Nachrichten“. Dieser Artikel hat vermutlich sehr zum Interesse von Kopff an der Relativitätstheorie beigetragen (siehe das obige Kapitel 4.1).

Persönlich können sich Freundlich und Kopff 1913 auf der Tagung der Astronomischen Gesellschaft (AG) in Hamburg getroffen haben. Die Tagung fand vom 6. bis 9. August statt und hatte die ungewöhnlich hohe Teilneh-

---

<sup>14</sup>Hermann Struve (1854-1920), seit 1904 Direktor der Berliner Sternwarte

<sup>15</sup>Courvoisier hat übrigens seit 1905 die Ansicht vertreten, daß es eine „jährliche Refraktion“ der Sterne gäbe, durch die die scheinbaren Örter der Sterne an der Sphäre radial von der Sonne weg verschoben würden. Dieser „Courvoisier-Effekt“ trat damit später in Konkurrenz zur Deutung der Lichtablenkung an der Sonne durch die Allgemeine Relativitätstheorie. Siehe Kapitel 4.5.5.

merzahl von 155 Personen. Vorher lag diese Zahl stets unter 90, z.B. 1910 in Breslau bei nur 54. Freundlich war 1913 Mitglied der AG geworden und hat an der Hamburger Tagung teilgenommen<sup>16</sup>. Für Kopffs Teilnahme haben wir keinen Beleg gefunden, halten sie aber nicht für unmöglich. Kopff ist zwar erst Anfang 1914 Mitglied der AG geworden<sup>17</sup>, könnte aber 1913 schon als Gast an der Hamburger Tagung teilgenommen haben. Als Nichtmitglied konnte er naturgemäß noch nicht in der Aufstellung der teilnehmenden Mitglieder enthalten sein. Allerdings befindet sich Kopff nicht auf dem Tagungsphoto, obschon einige Gäste (z.B. C. Abbot (1872-1973)) darauf zu sehen sind. Überhaupt sind wir erstaunt, daß Kopff erst 1914 in die AG eingetreten ist, obwohl er doch bereits seit ungefähr einem Jahrzehnt den Beruf eines Astronomen in Forschung und Lehre ausübte.

Auch der Ausbruch des Ersten Weltkriegs 1914 hat vermutlich den Kontakt zwischen Kopff und Freundlich kaum vermindert. Während Kopff aber direkten Militärdienst leistete (siehe Kapitel 2.3), war Freundlich offenbar vom Kriegsdienst suspendiert, entweder aus gesundheitlichen Gründen (Herzleiden) oder weil er 1914 nach seiner Internierung in Rußland gegen russische Offiziere ausgetauscht worden war und sich dabei vielleicht verpflichten mußte, auf militärische Einsätze in diesem Krieg zu verzichten. Allerdings arbeitete Freundlich seit 1917 für die deutsche Artillerie-Prüfungskommission an Verfahren zur Richtungsbestimmung (siehe Fußnote 22 auf S. 55 von Hentschel (1992)). Vielleicht ergaben sich aus dem Umstand, daß Kopff und Freundlich beide für die Artillerie tätig waren, neue Berührungspunkte. Gegen Ende des Ersten Weltkriegs war das Verhältnis zwischen beiden relativ eng, wie die Postkarte von Freundlich vom Juli 1918 (siehe Kapitel 8.2.1) beweist.

In den Jahren 1921 und 1922 arbeiteten Freundlich und Kopff eng zusammen, um die Expedition zur Beobachtung der Sonnenfinsternis am 21. September 1922 auf der Weihnachtsinsel im Indischen Ozean vorzubereiten und durchzuführen (siehe Kapitel 4.5). Insbesondere die monatelange Reise zur Weihnachtsinsel, die im Juni 1922 in Hamburg begann, haben beide gemeinsam erlebt.

Nach Kopffs Übersiedlung von Heidelberg nach Berlin 1924 hatten er und Freundlich wieder direkten Kontakt. Kienle (1961) schreibt in seinem Nachruf auf Kopff, daß dieser „dem lebendigen Kreis um E. Freundlich ... eng verbunden [*war*] ...“. Aus Kopffs Berliner Zeit ist der in Kapitel 8.2.2 edierte Brief Freundlichs vom Mai 1926 aus den USA überliefert. Darin dankt Freundlich Kopff für dessen Hilfe. Der Brief ist in herzlichem Ton gehalten.

---

<sup>16</sup>Freundlich ist in der Liste der teilnehmenden AG-Mitglieder unter „Finlay-Freundlich“ aufgeführt und als Nr. 31 auf dem durchsichtigen Identifizierungsblatt zum Tagungsphoto enthalten. Tagungsphoto und Identifizierungsblatt befinden sich im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts.

<sup>17</sup>Siehe Schielicke (2013) und Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft, 49. Jahrgang (1914), S. 1

Im Jahr 1930 bat das Preußische Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung Kopff um eine Beurteilung von Freundlich. Den genauen Anlaß dafür kennen wir nicht. Kopff erstattete sein Gutachten<sup>18</sup> am 12. Mai 1930. Er bescheinigt darin Freundlich große Verdienste um die beobachterische Bestätigung der Relativitätstheorie und um den Aufbau des Einsteinturms. Allerdings enthält das Schreiben auch kritische Töne und führt aus, „daß Prof. Freundlich als Persönlichkeit von dem größten Teil der deutschen Astronomen - im Gegensatz zum Ausland - nicht ohne seine Schuld abgelehnt wird. Er ist vielfach sehr einseitig in der Beurteilung der Leistungen anderer gewesen und hat durch sein starkes Geltungsbedürfnis verletzend gewirkt. Es ist jetzt so, daß die meisten Fachgenossen von vorn herein von einem Unternehmen nichts wissen wollen, das von Prof. Freundlich ausgeht, oder an dem er irgendwie beteiligt ist. ...“. Zu diesem Zeitpunkt scheint die Beziehung zwischen Kopff und Freundlich etwas abgekühlt gewesen zu sein.

Freundlich war gezwungen, Berlin im Oktober 1933 zu verlassen (Einzelheiten dazu gibt Hentschel (1992, Kapitel 11)). Ob es danach noch einen Schriftwechsel oder andere Kontakte zwischen Kopff und Freundlich gab, ist uns nicht bekannt.

### 4.3 Kopffs Vorlesungen über Relativitätstheorie

Kopff hielt in den Jahren von 1919 bis 1924 an der Universität Heidelberg insgesamt vier Vorlesungen über Relativitätstheorie. Hinsichtlich der Speziellen Relativitätstheorie war er damit allerdings nicht der erste Dozent in Heidelberg (siehe Kapitel 4.3.6), sehr wohl aber für die mathematisch anspruchsvollere Allgemeine Relativitätstheorie.

Die Tatsache, daß Kopff in diesem Zeitraum in Heidelberg Vorlesungen über Relativitätstheorie gehalten hat, ist aus folgendem Grunde für uns erstaunlich: Ordinarius für Physik in Heidelberg war damals der prominenteste Gegner Einsteins, Philipp Lenard<sup>19</sup> (siehe z.B. Schönbeck (2000)). Spätestens nach dem Zeitungsartikel, den Einstein im „Berliner Tageblatt“ vom 27. August 1920 als Reaktion auf die heftigen Angriffe gegen die Relativitätstheorie veröffentlichte und in dem er Lenard scharf attackierte, war das früher einmal gute Verhältnis zwischen Einstein und Lenard irreparabel zerstört. Kopff mußte also spätestens ab 1920 davon ausgehen, daß er mit seinen Vorlesungen über Relativitätstheorie (dazu 1924 sogar noch „für Hörer aller Fakultäten“!) Lenards Unmut provozierte.

---

<sup>18</sup>Im Folgenden zitiert nach Grundmann (2004, S. 145/146)

<sup>19</sup>Philipp Lenard (1862-1947)

Aber erstaunlicherweise konnten wir keine negative Stellungnahme Lenards zu Kopffs Vorlesungen finden, weder in den Akten des Heidelberger Universitätsarchivs noch in der Literatur. Warum verhielt sich Lenard gegenüber Kopff so ruhig? Wir vermuten folgendes: Kopff war einer der Lieblingsschüler des Direktors der Heidelberger Sternwarte, Max Wolf, und stand mit diesem in bestem Einvernehmen. Ohne Billigung von Wolf hätte Kopff wohl keine Vorlesung über Relativitätstheorie angekündigt<sup>20</sup>. Nun war Wolf aber ein Studienkamerad und Freund von Lenard. Beide hatten 1888 und 1889 sogar zwei physikalische Arbeiten gemeinsam publiziert. Jetzt waren beide Professoren-Kollegen an der Heidelberger Universität. Vielleicht hat Lenard daher aus Rücksicht auf sein gutes Verhältnis zu Wolf keine Angriffe gegen Kopff gestartet. Immerhin war es aus unserer Sicht mutig und selbstbewußt von Kopff, gerade in Heidelberg mit seinen Vorlesungen über Relativitätstheorie wissenschaftlich Stellung für Einstein und damit gegen Lenard zu beziehen.

#### **4.3.1 Vorlesung im Wintersemester 1919/20: „Relativitätstheorie“**

Dies war die erste Vorlesung von Kopff über Relativitätstheorie. Es handelte sich um eine zweistündige Veranstaltung. Sie fand Mittwochs von 14 bis 16 Uhr statt. Die Zahl der eingeschriebenen Hörer betrug 17. Zu diesen Hörern geben wir im Anhang in Kapitel 8.1.1 nähere Informationen (Namen, aber teilweise auch biographische Einzelheiten).

Den genauen Inhalt der Vorlesung kennen wir leider nicht. Weil sich aber an Kopffs erste Vorlesung über die Relativitätstheorie dann im folgenden Semester ein zweiter Teil anschloß, kann man vermuten, daß im Wintersemester 1919/20 hauptsächlich die Spezielle Relativitätstheorie vorgestellt wurde. Sicher kam aber gegen Ende der ersten Vorlesung auch die Allgemeine Relativitätstheorie wenigstens in ihren Grundzügen schon zur Sprache.

Bemerkenswert ist der Zeitpunkt dieser Vorlesung. Sie begann am 1. Oktober 1919 und mußte sicher bereits im Sommer 1919 für das Vorlesungsverzeichnis des Wintersemesters 1919/20, in dem die Vorlesung in gedruckter Form angekündigt wurde, angemeldet werden. Kopff hatte die Vorlesung also bereits geplant, bevor die Presse ab November 1919 Einstein und die Relativitätstheorie als wissenschaftliche Sensation feierte. Auslöser dieser allgemei-

---

<sup>20</sup>Max Wolf hegte für die Relativitätstheorie einerseits Bewunderung, hatte aber andererseits auch Vorbehalte gegen sie; siehe Freiesleben (1962, S. 163). Wolf hat dies u.a. in seinem Brief vom 30. August 1920 an Einstein zum Ausdruck gebracht. Dieser Brief ist wiedergegeben in „The Collected Papers of Albert Einstein“ (siehe Einstein 1987ff im Literaturverzeichnis), Vol. 10 (2006), Nr. 123, S. 400. Wolf zitiert dort auch indirekt eine seiner Arbeiten (Wolf 1920), die sich mit photographisch-technischen Problemen bei der Messung der Lichtablenkung durch Aufnahmen bei Sonnenfinsternissen beschäftigt.

nen Begeisterung in England, den USA und dann auch in Deutschland war eine gemeinsame Sitzung der englischen Royal Society und der Royal Astronomical Society am 6. November 1919 in London, auf der bekanntgegeben wurde, daß die Messungen während der Sonnenfinsternis vom 29. Mai 1919 die von Einstein vorhergesagte Lichtablenkung bestätigt haben.

Natürlich kannte Kopff das Datum der Sonnenfinsternis, und er rechnete vielleicht auch mit ersten Meßergebnissen für Ende 1919 oder Anfang 1920. Aber das Ausmaß der Euphorie über die Bestätigung der Einsteinschen Relativitätstheorie konnte er sicher nicht vorhersehen. Die Hörer der Vorlesung von Kopff waren wohl auch erstaunt, daß über das Thema der von ihnen besuchten Lehrveranstaltung plötzlich in der allgemeinen Tagespresse so umfangreich und aufgeregt berichtet wurde.

#### **4.3.2 Vorlesung im Sommersemester 1920: „Relativitätstheorie II“**

Seine erste Vorlesung zur Relativitätstheorie ergänzte Kopff im darauffolgenden Sommersemester durch einen zweiten Teil. Die Lehrveranstaltung war diesmal nur einstündig und fand Mittwochs von 15 bis 16 Uhr statt.

Inhalt des zweiten Teils war vermutlich eine vertiefte Behandlung der Allgemeinen Relativitätstheorie. Wie auch in seinem Buch (siehe unser Kapitel 4.4) hat Kopff sicher versucht, den Studenten auch die mathematischen Grundlagen der Allgemeinen Relativitätstheorie (Riemannsche Geometrie, höhere Tensoranalysis) zu vermitteln. Allerdings wundert es uns, daß er dafür mit einer einstündigen Vorlesung im kurzen Sommersemester ausgekommen sein sollte.

Die Hörerzahl des Teils II war auf 6 Studenten geschrumpft. Vielleicht hatte Kopff bereits in seiner ersten Vorlesung angekündigt, daß der Teil II stärkeres Interesse an der mathematischen Behandlung der Allgemeinen Relativitätstheorie voraussetzen werde, und hat damit viele Teilnehmer der ersten Vorlesung abgeschreckt. Immerhin besuchten 5 Hörer des ersten Teils auch den Teil II, und ein Student kam sogar neu hinzu.

#### **4.3.3 Ausgefallene Vorlesung im Sommersemester 1922: „Einführung in die Relativitätstheorie“**

Für das Sommersemester 1922 hatte Kopff eine Vorlesung über Relativitätstheorie mit leicht verändertem Titel angekündigt. Sie sollte als zweistündige Veranstaltung Mittwochs von 15 bis 17 Uhr stattfinden und am 26. April 1922 beginnen. Die Vorlesung mußte aber ausfallen, weil Kopff an der holländisch-

deutschen Expedition zur Beobachtung der Sonnenfinsternis am 21. September 1922 auf der Weihnachtsinsel im Indischen Ozean teilnahm (siehe Kapitel 4.5.3). Dazu mußte er Deutschland bereits im Juni 1922 per Schiff verlassen und vorher auch noch zahlreiche Expeditionsvorbereitungen treffen.

Die Absage der Vorlesung ist aber offenbar relativ kurzfristig erfolgt, denn 7 Studenten hatten sich bereits für die Veranstaltung eingeschrieben. Sie erhielten von der Quästur ihre bereits eingezahlte Studiengebühr zurück. Als Begründung hat die Quästur lakonisch vermerkt: „Vorl[esung] findet nicht statt.“.

Obwohl Kopff sicher davon ausgegangen ist, daß die Expedition zustande kommt und er daran teilnehmen kann, mußte er als außerordentlicher Professor an der Universität eine Vorlesung anmelden und zwar vermutlich Ende 1921 oder Anfang 1922, Zu diesem Zeitpunkt war er noch nicht offiziell für die Expedition beurlaubt worden.

Wenn man die Hörerzahlen der beiden folgenden Vorlesungen von Kopff (25 bzw. 22) als Richtwert nimmt, dann hätten sich wahrscheinlich noch deutlich mehr Studenten eingeschrieben. Unter den bekannten 7 potentiellen Hörern befanden sich zwei, die später in Astronomie promovierten (siehe Kapitel 8.1.3).

#### **4.3.4 Vorlesung im Sommersemester 1923: „Einführung in die Relativitätstheorie“**

Die 1922 ausgefallene Vorlesung hielt Kopff dann im Sommersemester 1923. Der Titel der Vorlesung wurde gegenüber 1919 um die Worte „Einführung in die ...“ erweitert. Damit sollte wohl auf eine notwendige Reduktion der dargebotenen Stoffmenge gegenüber der zweiteiligen Vorlesungen von 1919/1920 und gegenüber Kopffs Buch hingewiesen werden. Als Ausgleich stand den Studenten jetzt aber mit Kopffs eigenem Lehrbuch ein die Vorlesung optimal begleitendes und ergänzendes Werk zur Verfügung.

Die zweistündige Vorlesung fand Mittwochs von 15 bis 17 Uhr statt. Die Hörerzahl war gegenüber dem Wintersemester 1919/20 leicht angestiegen und betrug 25. Wegen der herrschenden Inflation mußte jeder Student 1923 eine Höregebühr von 400 Mark bezahlen, statt 10 Mark im Jahr 1919 und nur noch 3 Mark im Jahr 1924.

#### **4.3.5 Vorlesung im Sommersemester 1924: „Relativitätstheorie (für Hörer aller Fakultäten)“**

Die letzte Vorlesung, die Kopff zur Relativitätstheorie in Heidelberg vor seiner Übersiedlung nach Berlin gehalten hat, war mit dem zusätzlichen Vermerk „für Hörer aller Fakultäten“ versehen<sup>21</sup>. Man kann daher vermuten, daß Kopff das mathematische Niveau der Vorlesung etwas absenkte, um möglichst allen seinen Hörern die Relativitätstheorie nahezubringen. Andererseits betont Kopff im Vorwort zu seinem Buch: „Ohne ein tieferes Eindringen in die mathematischen Probleme der Relativitätstheorie kann man deren Gedankengänge niemals wirklich verstehen.“.

Obwohl sich die Vorlesung diesmal durch den Zusatz an einen viel größeren Kreis von Studenten wandte, war die Hörerzahl mit 22 eingeschriebenen Studenten sogar etwas geringer als im vorigen Sommersemester. Die Vorlesung fand wieder Mittwochs von 15 bis 17 Uhr statt.

Diese Vorlesung war Kopffs letzte Lehrveranstaltung zum Thema Relativitätstheorie. Auch später in Berlin hat er über dieses Thema keine Vorlesungen mehr gehalten. Das ist verständlich, gab es doch in Berlin mit Einstein selbst, aber auch mit von Laue und Planck genügend Theoretische Physiker, die sich dieses Themas annehmen konnten.

#### **4.3.6 Frühere und spätere Vorlesungen anderer Dozenten über Relativitätstheorie in Heidelberg**

Die erste nachgewiesene Beschäftigung mit der Relativitätstheorie in Heidelberg war das private Kolloquium, das im Sommersemester 1909 von Pockels und Laub abgehalten wurde (siehe auch Kapitel 4.1)<sup>22</sup>. Obwohl Pockels außerordentlicher Professor war, scheint es sich bei diesem Privatkolloquium offiziell nicht um eine Veranstaltung der Universität Heidelberg gehandelt zu haben, denn das Kolloquium ist nicht im Vorlesungsverzeichnis enthalten. Trotzdem ist es möglich, daß neben Pockels und Laub auch Studenten am Privatkolloquium teilgenommen haben, weil solche Veranstaltungen sowieso meist „privatissime und gratis“ waren.

Die erste offizielle Lehrveranstaltung der Universität Heidelberg zur Relativitätstheorie fand im Wintersemester 1912/13 statt (siehe auch Kapitel 4.1).

---

<sup>21</sup>Der Vermerk „für Hörer aller Fakultäten“ an einer Vorlesung war damals sehr selten. An der Heidelberger Universität fand im Sommersemester 1924 nur eine weitere Fachvorlesung mit diesem Zusatz in der Medizinischen Fakultät statt. Sonst waren nur Kurse zum Zeichnen, zum Turnen usw. allgemein zugänglich.

<sup>22</sup>Zu Friedrich Pockels und Jacob Laub siehe die Fußnoten in Kapitel 4.1

Der Theoretische Physiker Pockels und der Mathematiker Boehm<sup>23</sup> veranstalteten gemeinsam diese Lehrveranstaltung. Sie trug den Titel „Einführung in die Relativitätstheorie (Kolloquium)“, war einstündig, fand Mittwochs von 18 bis 19 Uhr statt<sup>24</sup> und war privatissime und gratis. Das Kolloquium wurde sowohl unter den physikalischen als auch unter den mathematischen Lehrveranstaltungen angekündigt. Über den Charakter der Lehrveranstaltung liegen uns leider keine Informationen vor. Vermutlich handelte es sich um eine Reihe von Einzelvorträgen.

Die erste Vorlesung zur Relativitätstheorie wird im Vorlesungsverzeichnis der Universität Heidelberg für das Wintersemester 1915/16 angekündigt. Dozent war der Mathematiker Bopp<sup>25</sup>. Der Titel der zweistündigen Vorlesung lautete schlicht „Relativitätstheorie“ (wie später auch Kopffs Vorlesung im Wintersemester 1919/20). Wochentag und Uhrzeit sind im Vorlesungsverzeichnis noch offen. Inhaltlich hat sich die Vorlesung sicher hauptsächlich auf die Spezielle Relativitätstheorie und auf erste Ansätze zur Allgemeinen Relativitätstheorie (die sogenannte „Entwurfstheorie“ von Einstein und Großmann (1913)) konzentriert, denn die endgültigen Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie hat Einstein erst am 25. November 1915 vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften in Berlin vorgetragen. Wir sind allerdings nicht völlig sicher, daß die Vorlesung von Bopp tatsächlich und vor allem wirklich bis zum Ende des Wintersemesters im Februar 1916 durchgeführt worden ist. Denn im Vorlesungsverzeichnis für das Sommersemester 1916, das bereits Anfang 1916 verfaßt worden sein muß, wird Bopp als „Im Kriegsdienst“ aufgeführt. Womöglich mußte er diesen bereits gegen Ende 1915 antreten.

Vom Wintersemester 1919/20 bis zum Sommersemester 1924 hielt dann Kopff seine Vorlesungen zur Relativitätstheorie (siehe die Kapitel 4.3.1 bis 4.3.5).

Nach der letzten Vorlesung von Kopff über Relativitätstheorie gab es in Heidelberg für lange Zeit keine entsprechende Vorlesung mehr. Wahrscheinlich ist dies auch auf den Einfluß von Lenard zurückzuführen. Allerdings könnten einzelne Aspekte der Speziellen Relativitätstheorie in anderen Vorlesungen, z.B. zur Mechanik oder Elektrodynamik, behandelt worden sein.

Die einzige Lehrveranstaltung in Heidelberg im Zeitraum vom Wintersemester 1924/25 bis 1945, die sich sicher zumindest indirekt eingehender mit der Speziellen Relativitätstheorie beschäftigt hat, war im Sommersemester 1926

---

<sup>23</sup>Zu Friedrich Pockels und Karl Boehm siehe die Fußnoten in Kapitel 4.1

<sup>24</sup>Kopff hielt in diesem Wintersemester 1912/13 Mittwochs von 15 bis 16 Uhr „Übungen zur Bahnbestimmung“ ab. Er könnte also nach seiner Lehrveranstaltung ohne großen Zusatzaufwand am Kolloquium zur Relativitätstheorie teilgenommen haben.

<sup>25</sup>Zu Karl Bopp siehe die Fußnote in Kapitel 4.1

die Vorlesung von Tomaschek<sup>26</sup> über „Die experimentellen Grundlagen der Elektrodynamik bewegter Medien“. Tomaschek hatte 1923 auf der Heidelberger Sternwarte<sup>27</sup> den Michelsonversuch<sup>28</sup>, der eine der experimentellen Grundlagen der Speziellen Relativitätstheorie ist, auf Anregung von Lenard (1921) mit „Fixsternlicht“ wiederholt. Er benutzte dazu Licht von Sonne, Jupiter, Sirius und Arktur. Tomaschek (1923, 1924) bestätigte jedoch nur die Resultate von Michelson und Morley, die „irdische“ (d.h. mit dem Labor mitbewegte) Lichtquellen benutzt hatten. Zusätzlich hat Tomaschek den Michelsonversuch auch in großer Höhe (auf dem Jungfrauoch) wiederholt. Da Tomaschek stark von Lenard beeinflusst war, wurde die Relativitätstheorie in seiner Vorlesung aber sicher kritisch behandelt.

Auch nach 1945 dauerte es noch ein Jahrzehnt, bis wieder eine spezielle Vorlesung mit dem Titel „Relativitätstheorie“ abgehalten wurde. Sie fand im Sommersemester 1956 statt und war sogar dreistündig. Dozent war der Theoretische Physiker Koppe<sup>29</sup>. Noch lange Zeit wurde die Allgemeine Relativitätstheorie in Heidelberg nur in gedrängter Form als Teil anderer Vorlesungen dargeboten, z.B. in den Kosmologie-Vorlesungen, die R.W. seit 1970 in Heidelberg hielt. Später gab es aber auch Vorlesungen, die sich speziell mit der Allgemeinen Relativitätstheorie befaßten. Heute ist eine vierstündige Vorlesung mit zweistündigen Übungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie ein Teil des Wahlpflichtprogramms für das Master-Studium in Heidelberg. Die Spezielle Relativitätstheorie ist jetzt in die normalen Physik- und Astronomie-Vorlesungen integriert.

---

<sup>26</sup>Rudolf Tomaschek (1895-1966). Er hat 1918 in Heidelberg bei Lenard promoviert, wurde Assistent von Lenard und hat sich 1924 an der Universität Heidelberg habilitiert. Später war er Professor in Marburg, Dresden und an der TH München.

<sup>27</sup>Die Tatsache, daß Tomaschek als Mitarbeiter von Lenard sein Experiment auf der Heidelberger Sternwarte durchführen durfte, zeigt ebenfalls das in unserem Kapitel 4.3 erwähnte gute Einvernehmen zwischen Wolf (dem Direktor der Sternwarte) und Lenard. Kopff arbeitete 1923 ebenfalls auf der Sternwarte. Über sein Verhältnis zu Tomaschek und dessen Experiment liegen uns keine Informationen vor. Kopff zitiert aber die Arbeiten von Tomaschek ausführlich in seinem Lehrbuchartikel von 1928 (siehe unser Kapitel 4.6).

<sup>28</sup>Zum Michelsonversuch siehe z.B. den Artikel „Der Interferenzversuch Michelsons“ von H. A. Lorentz in Lorentz et al. (1922)

<sup>29</sup>Heinz Koppe (1918-2000). Er hatte 1945 in Berlin promoviert und 1952 in Göttingen habilitiert. 1955 wurde er Assistent im von J. Hans D. Jensen (1907-1973) geleiteten Institut für Theoretische Physik der Universität Heidelberg und wirkte als Privat-Dozent, ab 1958 als außerplanmäßiger Professor in Heidelberg. Später war er in München tätig und nahm 1963 den Ruf auf einen der beiden Lehrstühle für Theoretische Physik der Universität Kiel an.

## 4.4 Kopffs Buch über die Relativitätstheorie

### 4.4.1 Die erste Auflage von 1921

*Im Literatur-Verzeichnis aufgeführt unter:* Kopff, A. 1921a

*Bibliographische Angaben:*

Dr. August Kopff, a.o. Professor der Astronomie an der Universität Heidelberg: Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie. Verlag von S. Hirzel in Leipzig 1921. VIII und 198 Seiten.

*Hinweis auf Scans:*

In den Fig. 5 bis 9 geben wir Scans des Einbands, der Titelseite, des Vorworts, des Inhaltsverzeichnisses, und der ersten Seite der Einleitung wieder. Die Einleitung der 1. Auflage ist nahezu identisch mit derjenigen der 2. Auflage. Wir verweisen daher auf den vollständigen Scan der Einleitung zur 2. Auflage in den Fig. 14 bis 18. Scans aller Seiten der 1. Auflage sind online verfügbar unter: <http://archive.org/details/grundzgedereins00kopffgoog> .

*Preis:*

Die erste Auflage von Kopffs Buch erschien in der Inflationszeit. Daher änderte sich der Preis offenbar laufend. In der in Kapitel 4.4.7 zitierten Rezension (1a) von 1921 von Thirring werden folgende Preise genannt: geheftete Ausgabe: Mark 36,00 ; gebundene Ausgabe: Mark 42,50. Bei einigen, in dem selben Heft der Zeitschrift besprochenen Bücher wird nach genannten Preisen explizit auf Teuerungszuschläge hingewiesen.

*Kommentar:*

Wie Kopff in seinem Vorwort schreibt (siehe Scan in Fig. 7), ist das Buch aus Vorlesungen hervorgegangen, die Kopff im Wintersemester 1919/20 und im Sommersemester 1920 an der Heidelberger Universität gehalten hat. Zu diesen Vorlesungen siehe Kapitel 4.3.1 und 4.3.2. Weitere Vorlesungen zur Relativitätstheorie hat Kopff erst ab Sommersemester 1923, also nach Fertigstellung seines Buches, abgehalten.

Das Buch umfaßt sowohl die Spezielle Relativitätstheorie als auch die Allgemeine Relativitätstheorie. Ein Schwerpunkt liegt auf der Einführung in die für die Allgemeine Relativitätstheorie so wichtige Tensorrechnung und in ihrer ausführlichen Benutzung und Erläuterung durch detailliertes Vorrechnen. Zur allgemeinen Zielsetzung und zum Inhalt des Buches verweisen wir auf Kopffs Vorwort (Scan in Fig. 7), das Inhaltsverzeichnis (Scan in Fig. 8), und auf seine Einleitung (teilweise als Scan in Fig. 9).

Zahlreiche Rezensionen der 1. Auflage zitieren wir in Kapitel 4.4.7, Punkt (1a) bis (1g).

Uns liegt kein Privat-Exemplar Kopffs der 1. Auflage mit Eintragungen von Druckfehlern usw. vor. Laut Vorwort zur 2. Auflage hat Kopff aber in der 2. Auflage „einige Versehen und Ungenauigkeiten“ der 1. Auflage beseitigt, auf die er „zum Teil von anderer Seite hingewiesen worden“ war. Zwei dieser Hinweise kennen wir und geben sie in Kapitel 8.3.1 und 8.3.2 wieder.

Eine uns etwas irreführend erscheinende Bemerkung von Kopff auf Seite 170 zum stationären Einstein-Universum von 1917, die Kopff auch in der 2. Auflage seines Buches (S. 172) und in seinem Lehrbuchartikel von 1928 (S. 573) wiederholt, kommentieren wir in Kapitel 8.5.



Fig. 5. Einband des Buches von Kopff (1921a)

Grundzüge  
der  
Einsteinschen  
Relativitätstheorie

von

**Dr. August Kopff**  
a. o. Professor  
der Astronomie an der Universität Heidelberg



---

Verlag von S. Hirzel in Leipzig 1921

Fig. 6. Titelblatt des Buches von Kopff (1921a)

## Vorwort.

**D**ie nachfolgende Einführung in die Einsteinsche Relativitätstheorie ist aus Vorlesungen hervorgegangen, die im Wintersemester 1919—20 und Sommersemester 1920 an der Universität Heidelberg gehalten wurden.

Sie sucht in möglichst einfacher Weise die grundlegenden Untersuchungen über diese Theorie wiederzugeben, wobei auf eine mathematische Darstellung des Gegenstandes nicht verzichtet werden konnte. Ohne ein tieferes Eindringen in die mathematischen Probleme der Relativitätstheorie kann man deren Gedankengänge niemals wirklich verstehen. Die Relativitätstheorie gehört der theoretischen Physik im weitesten Sinne an, und diese ist mathematische Beschreibung der physikalischen Naturvorgänge.

Dem Zweck des Buches entsprechend — eine erste Einführung zu geben — umfassen die vorausgesetzten Kenntnisse in Mathematik und Physik etwa diejenigen, die an den Hochschulen in den ersten Semestern erworben werden.

Daß ein Astronom es unternommen hat, eine solche Einführung zu schreiben, dürfte nicht weiter wundernehmen. Denn die Relativitätstheorie ist ebensowohl eine Angelegenheit der Astronomie wie der Physik, nicht nur deshalb, weil die Nachweise über ihre Gültigkeit augenblicklich gerade auf astronomischem Gebiet liegen.

Heidelberg-Königstuhl, Februar 1921.

**A. Kopff.**

Fig. 7. Vorwort des Buches von Kopff (1921a)

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort . . . . .	V
Literatur . . . . .	VIII
Einleitung . . . . .	1

### Erster Teil: Spezielle Relativitätstheorie.

§ 1. Das Galileische Relativitätsprinzip. Die Prinzipie der Relativitätstheorie . . . . .	6
§ 2. Die Isotropie des Raumes in der Physik und die Relativität der zeitlichen und räumlichen Größen . . . . .	15
§ 3. Die Raum-Zeit-Koordinaten und die Lorentz-Transformation . . . . .	23
§ 4. Raumartige und zeitartige Weltvektoren . . . . .	31
§ 5. Geometrische und mechanische Folgerungen aus der Lorentz-Transformation . . . . .	41
§ 6. Übersicht über die ältere Vektor- und Tensoranalysis. Grundgleichungen der Elektrodynamik . . . . .	52
§ 7. Allgemeine Tensoranalysis (I. Teil) . . . . .	66
§ 8. Die Elektrodynamik des leeren Raumes . . . . .	80
§ 9. Die Mechanik der speziellen Relativitätstheorie. Materie und Energie . . . . .	95

### Zweiter Teil: Allgemeine Relativitätstheorie.

§ 10. Das Äquivalenzprinzip . . . . .	106
§ 11. Die Zusammenhänge der allgemeinen Relativitätstheorie mit der Riemannschen Geometrie . . . . .	120
§ 12. Allgemeine Tensoranalysis (II. Teil). Die Grundgleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie . . . . .	142
§ 13. Die Einsteinsche Gravitationstheorie . . . . .	153
§ 14. Besondere Fälle der Gravitationstheorie. Das Gravitationsfeld der Sterne . . . . .	171
Sachregister . . . . .	193

Fig. 8. Inhaltsverzeichnis des Buches von Kopff (1921a)

## Einleitung.

**B**ei einer ersten Beschäftigung mit der Relativitätstheorie läuft man leicht Gefahr, sich allzusehr in Einzelheiten zu verlieren und die prinzipiellen Fragen zu übersehen. Für das Studium des Folgenden bedeutet es deshalb vielleicht eine Erleichterung, wenn wir versuchen, die grundlegenden Gedankengänge herauszuheben, soweit dies ohne mathematische Hilfsmittel möglich ist. Hierbei muß freilich manches gesagt werden, was sich späterhin noch einmal wiederholt.

An die Spitze der Physik stellt die Relativitätstheorie den Satz: Alle Bewegungen in der Natur sind solche von Massen oder Energien gegeneinander; alle Bewegungsvorgänge sind also relative (Relativitätsprinzip). Wir treten damit in Gegensatz zur klassischen Physik, welche absolute und relative Bewegungen kennt. Erinnern wir uns an einige einfache Beispiele. Eine relative Bewegung ist diejenige eines gleichmäßig geradeaus fahrenden Eisenbahnzuges gegen die Umgebung, oder allgemeiner, die geradlinige und gleichförmige Bewegung einer Masse gegen eine Bezugsmasse. Wir können das Koordinatensystem, auf welches wir die Beschreibung beziehen, in die Bezugsmasse oder die bewegte Masse legen und erhalten in beiden Fällen eine gleichlautende Beschreibung für den Bewegungsvorgang.

Anders liegen dagegen die Verhältnisse nach Auffassung der klassischen Mechanik bei der Rotationsbewegung. Rotiert ein Körper gegen ein Koordinatensystem, in welchem das Galileische Trägheitsgesetz gilt (Galileisches Koordinatensystem), so treten Zentrifugalkräfte auf, wobei es gleichgültig ist, ob in der Umgebung des Körpers sich ruhende Massen befinden oder nicht. Ruht dagegen der zentrale Körper, und rotieren die Massen der Umgebung um ihn, so fehlen die Zentrifugalkräfte. Eine Vertauschung von rotierender, zentraler Masse und den Massen der Umgebung (Be-

Fig. 9. Seite 1 der Einleitung des Buches von Kopff (1921a)

#### 4.4.2 Die zweite Auflage von 1923

*Im Literatur-Verzeichnis aufgeführt unter:* Kopff, A. 1923a

*Bibliographische Angaben:*

Dr. August Kopff, a.o. Professor der Astronomie an der Universität Heidelberg: Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie. Zweite verbesserte Auflage. Mit 3 Figuren. Verlag von S. Hirzel in Leipzig 1923. VIII und 204 Seiten.

*Hinweis auf Scans:*

In den Fig. 10 bis 20 geben wir Scans des Einbands, der Titelseite, des Vorworts, des Inhaltsverzeichnisses, der Einleitung, der ersten Seite von § 1, und die letzte Seite (S. 198) des Textes wieder.

*Preis:*

Geheftet: Mark 4,00 ; Pappband: Mark 5,50 .

*Besonderheiten:*

Obwohl im Buch als offizielles Erscheinungsdatum das Jahr 1923 genannt wird, ist das Werk offensichtlich bereits Ende 1922 erschienen. Denn der Schreiber des in Kapitel 8.3.3 wiedergegebenen Briefs vom 28. Dezember 1922 muß das Buch damals bereits in Händen gehabt haben. Vielleicht wollte der Verlag Hirzel schon beim Weihnachtsgeschäft 1922 mit dem Werk präsent sein.

*Kommentar:*

Die 2. Auflage des Buches unterscheidet sich von der 1. Auflage vor allem dadurch, daß § 11 („Der Zusammenhang der allgemeinen Relativitätstheorie mit der Riemannschen Geometrie“) vollständig umgearbeitet worden ist. Der Grund für diese Umarbeitung ist nicht angegeben und aus dem neuen Text auch nicht eindeutig erkennbar. Zwar hat Thirring in seiner Rezension (siehe Kapitel 4.4.7, Punkt (1a)) diesen Paragraphen als „nicht ganz geglückt“ bezeichnet und eine Umarbeitung in nachfolgenden Auflagen angeregt, ohne aber seine Kritik zu konkretisieren. Ob Kopff mit Thirring darüber korrespondiert hat, wissen wir nicht. Im Ergebnis ist der § 11 in der 2. Auflage deutlich besser verständlich als in der 1. Auflage. Das gilt besonders für die zweite Hälfte von § 11, in der der Zusammenhang zwischen der Metrik  $g_{\mu\nu}$  und der Raumkrümmung dargestellt wird. Der § 11 ist durch die Umarbeitung aber nur geringfügig länger geworden (jetzt 25 statt vorher 23 Seiten).

Wir haben bereits in Kapitel 4.4.1 (zur 1. Auflage des Buches) darauf hingewiesen, daß Kopff im Vorwort zur 2. Auflage schreibt, daß er in der 2. Auflage „einige Versehen und Ungenauigkeiten“ der 1. Auflage beseitigt habe, auf die er „zum Teil von anderer Seite hingewiesen worden“ sei. Zwei dieser Hinweise kennen wir und geben sie in Kapitel 8.3.1 und 8.3.2 wieder.

Wegen seiner bereits Mitte Juni 1922 erfolgten Abreise aus Deutschland mit der Sonnenfinsternis-Expedition zur Weihnachtsinsel (siehe Kapitel 4.5) konnte Kopff die Korrekturen der Druckfahnen der 2. Auflage seines Buches nicht selbst vornehmen. Dies übernahm für ihn Max Mündler, der damals Assistent an der Heidelberger Sternwarte war. Kopff dankt Mündler dafür ausdrücklich in seinem Vorwort (siehe Fig. 12).

Rezensionen der 2. Auflage des Buches zitieren wir in Kapitel 4.4.7, Punkt (2a) bis (2c). Die Besprechung durch Max von Laue geben wir vollständig in Kapitel 8.3.4 wieder.

Fremde Hinweise zur Verbesserung der 2. Auflage geben wir in Kapitel 8.3.3 bis 8.3.5 wieder. Einige der Verbesserungsvorschläge von Thirring (Kapitel 8.3.2) zur 1. Auflage konnten nicht rechtzeitig in die 2. Auflage eingearbeitet werden. Kopff hat sie aber für eine eventuelle 3. Auflage vorgemerkt.

In dem uns vorliegenden Privat-Exemplar der 2. Auflage hat Kopff mit Bleistift am Rand der Seiten zahlreiche Anmerkungen, z.B. zu Druckfehlern, angebracht. Diese Notizen waren offensichtlich für eine (nicht erschienene) 3. Auflage des Buches (siehe Kapitel 4.4.9). vorgesehen. Eine Zusammenstellung dieser Anmerkungen in Kopffs Privat-Exemplar der 2. Auflage geben wir in Kapitel 8.4.1.

Wir weisen auch auf unsere Anmerkung in Kapitel 8.5 hin.

Die in Fig. 20 wiedergegebene letzte Seite des Textteils des Buches gibt einen guten Eindruck davon, wie Kopff damals den Stand der Bestätigung der Relativitätstheorie beurteilt hat. Sein Urteil ist überwiegend positiv; zumindest ist er in dieser Hinsicht optimistisch. Allerdings können wir heute seine Ansicht, die Endlichkeit der Welt sei eine Vorhersage der Relativitätstheorie, nicht teilen (siehe dazu auch Kapitel 4.7.2). Seine spätere handschriftliche Notiz zu dieser Seite (siehe Kapitel 8.4.1) klingt etwas zurückhaltend im Hinblick auf die Einführung der Kosmologischen Konstanten  $\lambda$  in die Einsteinschen Feldgleichungen („... endgültige Lösung? Unbefriedigend.“). In seinem späteren Lehrbuchartikel (Kopff 1928, § 11: „Das kosmologische Problem in der Relativitätstheorie“) bespricht Kopff dann aber wieder die kosmologischen Ansätze ausführlich.



Fig. 10. Einband des Buches von Kopff (1923a)

Grundzüge  
der  
Einsteinschen  
Relativitätstheorie

von

Dr. August Kopff

a. o. Professor  
der Astronomie an der Universität Heidelberg

Zweite verbesserte Auflage

Mit 3 Figuren



---

Verlag von S. Hirzel in Leipzig 1923

Fig. 11. Titelblatt des Buches von Kopff (1923a)

---

## Vorwort zur zweiten Auflage.

**D**ie zweite Auflage dieses Buches unterscheidet sich von der ersten im wesentlichen dadurch, daß § 11 (Die Zusammenhänge der allgemeinen Relativitätstheorie mit der Riemannschen Geometrie) eine vollständige Umarbeitung erfahren hat. Im übrigen sind einige Versehen und Ungenauigkeiten beseitigt worden, auf die ich zum Teil von anderer Seite hingewiesen worden bin.

Das Buch behielt also seinen Charakter als mathematische Einführung in die Relativitätstheorie bei. Es wurde wiederum von einer Erörterung der philosophischen Probleme abgesehen; ebenso auch auf eine Darstellung der Erweiterung der Theorie durch H. Weyl verzichtet. Wenn in der ersten Auflage hervorgehoben wurde, daß es die Absicht des Buches war, zum Studium von Weyls „Raum, Zeit, Materie“ hinzuführen, so darf jetzt dasselbe vielleicht auch für die beiden neu erschienenen, umfassenden Darstellungen der Relativitätstheorie gelten: für den zweiten Band der „Relativitätstheorie“ von M. v. Laue und für den Enzyklopädieartikel „Relativitätstheorie“ von W. Pauli jr.

Während meiner Reise nach der Weihnachtsinsel bei Java zur Prüfung der Relativitätstheorie bei der totalen Sonnenfinsternis vom 20. September 1922 hat Herr Dr. M. Müндler die Korrekturen übernommen. Ich bin ihm hierfür zu besonderem Dank verpflichtet.

Heidelberg-Königstuhl, Juni 1922.

**A. Kopff.**

Fig. 12. Vorwort zur zweiten Auflage des Buches von Kopff (1923a)

---

---

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort zur ersten Auflage . . . . .	V
Vorwort zur zweiten Auflage . . . . .	VI
Inhaltsverzeichnis . . . . .	VII
Literatur . . . . .	VIII
Einleitung . . . . .	1

### Erster Teil: **Spezielle Relativitätstheorie.**

§ 1. Das Galileische Relativitätsprinzip. Die Prinzipie der Relativitätstheorie . . . . .	6
§ 2. Die Isotropie des Raumes in der Physik und die Relativität der zeitlichen und räumlichen Größen . . . . .	15
§ 3. Die Raum-Zeit-Koordinaten und die Lorentz-Transformation . . . . .	24
§ 4. Raumartige und zeitartige Weltvektoren . . . . .	32
§ 5. Geometrische und mechanische Folgerungen aus der Lorentz-Transformation . . . . .	42
§ 6. Übersicht über die ältere Vektor- und Tensoranalysis. Die Grundgleichungen der Elektrodynamik . . . . .	52
§ 7. Allgemeine Tensoranalysis (I. Teil) . . . . .	67
§ 8. Die Elektrodynamik des leeren Raumes . . . . .	81
§ 9. Die Mechanik der speziellen Relativitätstheorie. Materie und Energie . . . . .	95

### Zweiter Teil: **Allgemeine Relativitätstheorie.**

§ 10. Das Äquivalenzprinzip . . . . .	106
§ 11. Die Zusammenhänge der allgemeinen Relativitätstheorie mit der Riemannschen Geometrie . . . . .	119
§ 12. Allgemeine Tensoranalysis (II. Teil). Die Grundgleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie . . . . .	143
§ 13. Die Einsteinsche Gravitationstheorie . . . . .	154
§ 14. Besondere Fälle der Gravitationstheorie. Das Gravitationsfeld der Sterne . . . . .	174
Sachregister . . . . .	199

---

Fig. 13. Inhaltsverzeichnis des Buches von Kopff (1923a)

---

## Einleitung.

Bei einer ersten Beschäftigung mit der Relativitätstheorie läuft man leicht Gefahr, sich allzusehr in Einzelheiten zu verlieren und die prinzipiellen Fragen zu übersehen. Für das Studium des Folgenden bedeutet es deshalb vielleicht eine Erleichterung, wenn wir versuchen, die grundlegenden Gedankengänge herauszuheben, soweit dies ohne mathematische Hilfsmittel möglich ist<sup>1)</sup>. Hierbei muß freilich manches gesagt werden, was sich späterhin noch einmal wiederholt.

An die Spitze der Physik stellt die Relativitätstheorie den Satz: Alle Bewegungen in der Natur sind solche von Massen oder Energien gegeneinander; alle Bewegungsvorgänge sind also relative (Relativitätsprinzip). Wir treten damit in Gegensatz zur klassischen Physik, welche absolute und relative Bewegungen kennt. Erinnern wir uns an einige einfache Beispiele. Eine relative Bewegung ist diejenige eines gleichmäßig geradeaus fahrenden Eisenbahnzuges gegen die Umgebung, oder allgemeiner, die geradlinige und gleichförmige Bewegung einer Masse gegen eine Bezugsmasse. Wir können das Koordinatensystem, auf welches wir die Beschreibung beziehen, in die Bezugsmasse oder die bewegte Masse legen und erhalten in beiden Fällen eine gleichlautende Beschreibung für den Bewegungsvorgang. Physikalisch sind beide Koordinatensysteme gar nicht unterscheidbar; sie sind also vollkommen gleichberechtigt.

Anders liegen dagegen die Verhältnisse nach Auffassung der klassischen Mechanik bei der Rotationsbewegung. Rotiert ein Körper gegen ein Koordinatensystem, in welchem das Galileische Trägheitsgesetz gilt (Galileisches Koordinatensystem), so

---

<sup>1)</sup> Ausführlicher wurde dies vom Verfasser in einem Vortrag versucht: Die Einsteinsche Relativitätstheorie. Leipzig, Greßner & Schramm. 1920.

Fig. 14. Seite 1 der Einleitung des Buches von Kopff (1923a)

treten Zentrifugalkräfte auf, wobei es gleichgültig ist, ob in der Umgebung des Körpers sich ruhende Massen befinden oder nicht. Ruht dagegen der zentrale Körper in einem solchen System, und rotieren die Massen der Umgebung um ihn, so fehlen die Zentrifugalkräfte. Eine Vertauschung von rotierender, zentraler Masse und den Massen der Umgebung (Bezugsmassen) führt also bei der Beschreibung des Bewegungsvorganges zu verschiedenen Bewegungserscheinungen. Die Rotation ist eine absolute Bewegung.

Dasselbe gilt für die Beschleunigung. Besitzt ein Massenpunkt eine gewisse Beschleunigung gegen eine Bezugsmasse, die in einem Galileischen Koordinatensystem ruht, so ist eine Vertauschung von bewegter Masse und Bezugsmasse wiederum nicht ausführbar, ohne daß zugleich die Beschreibung des Bewegungsvorganges eine Änderung erfährt. Denn legen wir das Koordinatensystem in den beschleunigten Massenpunkt, so wird das Koordinatensystem selbst ein beschleunigtes, und in ihm gelten andere Bewegungsgesetze als im Galileischen System.

Auch in Elektrizität und Optik kennt die klassische Physik absolute Bewegungen, nämlich solche gegen den ruhenden Äther. Das mit ihm fest verbundene Koordinatensystem stellt ein bevorzugtes System dar.

Nun haben wir aber noch niemals in der Natur absolute Bewegungen (also Bewegungen gegen den Raum schlechthin) beobachtet. Jede Rotation, die wir wahrnehmen, jede Beschleunigung erfolgt gegen irgendwelche Massen. Noch niemals ist der Nachweis für die Existenz des Äthers (im Sinne der klassischen Physik) gelungen. Das physikalische Weltbild wäre einfacher und der Wirklichkeit entsprechender, wenn wir alle Bewegungen als relative deuten könnten. Das hat wohl vor Einstein am deutlichsten E. Mach ausgesprochen. Es sei nur an seine Ausführungen über die Rotation erinnert<sup>1)</sup>.

„Für mich gibt es überhaupt nur eine relative Bewegung und ich kann darin einen Unterschied zwischen Rotation und Translation nicht machen. Dreht sich ein Körper relativ gegen den Fixsternhimmel, so treten Fliehkräfte auf, dreht er sich relativ gegen einen andern Körper, nicht aber gegen den Fixsternhimmel,

<sup>1)</sup> E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 5. Aufl. Leipzig 1904. S. 252.

Fig. 15. Seite 2 der Einleitung des Buches von Kopff (1923a)

so fehlen die Fliehkräfte. Ich habe nichts dagegen, daß man die erstere Rotation eine absolute nennt, wenn man nur nicht vergißt, daß dies nichts anderes heißt, als eine relative Drehung gegen den Fixsternhimmel. Können wir vielleicht das Wasserglas Newtons festhalten, den Fixsternhimmel dagegen rotieren, und das Fehlen der Fliehkräfte nun nachweisen?

Der Versuch ist nicht nachweisbar, der Gedanke überhaupt sinnlos, da beide Fälle sinnlich voneinander nicht zu unterscheiden sind. Ich halte demnach beide Fälle für denselben Fall und die Newtonsche Unterscheidung für eine Illusion.“

Hier ist das Ziel einer Relativitätstheorie bereits erkannt, doch sie durchzuführen hat erst Albert Einstein vermocht, wenn sie auch freilich heute noch lange nicht zu Ende geführt ist, und wir nicht einmal sagen können, wohin sie uns schließlich bringen wird.

Aber was bereits vollendet vorliegt, spricht zu ihren Gunsten. 1905 setzten die Untersuchungen Einsteins über den spezielleren Fall der Relativität aller geradlinigen und gleichförmigen Bewegungen in Mechanik und Elektrizität ein, die für uns nun Vorbereitungen für die Untersuchungen über die Relativität aller Bewegungen bedeuten. Diese letzteren sind — wiederum von Einstein — in den Jahren 1915—1918 zu einem gewissen Abschluß gebracht worden.

Wollen wir den Begriff der absoluten Bewegung aus der Physik ausschalten, so müssen wir bestimmte Forderungen an die Naturgesetze stellen. Ihre Gültigkeit darf sich nicht mehr, wie die der Newtonschen oder Maxwell'schen Gleichungen, auf bevorzugte Koordinatensysteme beschränken. Denn solange letzteres der Fall ist, können wir immer durch Beobachtungen der physikalischen Naturvorgänge feststellen, ob wir uns in einem solchen bevorzugten System oder in „absoluter“ Bewegung dazu befinden. Die Naturgesetze müssen vielmehr für jedes beliebig bewegte System ihre Form unverändert behalten. Die Formulierung dieser Forderung bedeutet einen entscheidenden Fortschritt in der Physik. Damit verschwindet das Willkürliche, das durch das Gebundensein an die Koordinatenwahl in das Naturgesetz getragen worden war.

Einstein hat jedoch diese Forderung nicht nur erhoben, sondern zugleich ist es ihm auch gelungen, invariante Naturgesetze für Mechanik und Elektrizität aufzustellen. Die mathematischen Hilfsmittel hierfür waren bereits in der allgemeinen Tensoranalysis gegeben.

so bald man alle Bewegungen, als relative auffaßt  
Raum & Zeit nicht beobachtet

Fig. 16. Seite 3 der Einleitung des Buches von Kopff (1923a)

Diese Naturgesetze führten mit Notwendigkeit, wie eine einfache Überlegung zeigt, zu einer Theorie der Gravitation. Denn soll z. B. die Bewegung eines fallenden Steines (allgemeiner: eines sich selbst überlassenen Massenpunktes) gegen die Erde eine relative sein, so müssen wir die Beschreibung des Bewegungsvorganges sowohl in bezug auf die Erde als auch in bezug auf den Stein geben können, und in beiden Fällen muß die Beschreibung dieselbe sein. „Der Stein bewegt sich beschleunigt im ruhenden Gravitationsfeld der Erde“, oder „der Stein ruht im beschleunigten, gravitationsfreien Koordinatensystem der Erde“ sind die beiden gleichlautenden Beschreibungen. Alle Bewegungsvorgänge im ruhenden Gravitationsfeld setzen wir denen im beschleunigt bewegten, gravitationsfreien System gleich (Einsteinsches Äquivalenzprinzip.)

Die für beliebig bewegte Koordinatensysteme unveränderlichen Bewegungsgesetze ergeben so zugleich Gesetze für die unter dem Einfluß der Gravitation stattfindende Bewegung. Die Gravitation ist hierbei als etwas Besonderes aus dem Kreis der übrigen Kräfte herausgehoben. Überall in unserem mit Materie erfüllten Raum sind Gravitationsfelder. Das Vorhandensein der Gravitationsenergie wird damit zur physikalischen Eigenschaft des Raumes.

Vieles Neue und Ungewohnte haben diese Untersuchungen zur Folge gehabt. Die Vorstellung des Äthers als einer überall ruhenden, alles durchdringenden Substanz ist gefallen. Materie und elektromagnetische Energie erweisen sich als identisch. Räumliche und zeitliche Größen sind von der Bewegung des Koordinatensystems abhängig, und damit infolge des Äquivalenzprinzips auch abhängig vom Gravitationsfeld, auf das wir sie beziehen. Die geometrischen Eigenschaften von Raum und Zeit bestehen nicht an und für sich, sondern nur in bezug auf die im Raum vorhandene Materie. Die Trägheit der Materie schließlich ist als Gravitationserscheinung erkannt.

So hat die Relativitätstheorie die bisher getrennten Begriffe Raum, Zeit, Materie in wunderbarer Weise zu einem physikalischen Weltbild von außerordentlicher Einfachheit und Geschlossenheit zusammengefaßt: Materie und elektromagnetische Energie sind eine Einheit geworden, und diese bestimmt überall die physikalischen Eigenschaften des

Fig. 17. Seite 4 der Einleitung des Buches von Kopff (1923a)

Raumes zu jeder Zeit (das Gravitationsfeld) und zugleich die Metrik von Raum und Zeit.

Im einzelnen ist das Relativitätsprinzip in seiner allgemeinsten Form noch lange nicht erschöpft. Durchgeführt ist die Relativitätstheorie erst, soweit die Gravitationskräfte im Sinne der klassischen Mechanik dabei in Frage kommen. Und auch für diesen Teil der Physik ist noch nicht gezeigt, daß alle Erscheinungen, die wir in der Natur wahrnehmen, den Forderungen der Relativitätstheorie gemäß auftreten. Dieses Ziel ist ja auch durch die wissenschaftliche Arbeit einiger Jahre gar nicht zu erreichen.

Das bisher Errungene ist aber doch von solcher Bedeutung, daß wir beim Rückblick auf die Theorien der klassischen Physik uns wohl der Worte C. Neumanns<sup>1)</sup> erinnern dürfen:

„So hoch und vollendet eine Theorie auch dastehen mag, immer werden wir gezwungen sein, von ihren Prinzipien uns aufs genaueste Rechenschaft abzulegen. Immer werden wir im Auge behalten müssen, daß diese Prinzipien etwas Willkürliches und folglich etwas Bewegliches sind; damit wir womöglich in jedem Augenblick übersehen können, welche Wirkung eine Änderung dieser Prinzipien auf die ganze Gestaltung der Theorie ausüben würde; und zur rechten Zeit eine solche Änderung eintreten zu lassen imstande sind; damit wir (mit einem Wort) die Theorie vor einer Versteinerung, vor einer Erstarrung zu bewahren imstande sind, welche nur verderblich, für den Fortschritt der Wissenschaft nur hinderlich sein kann.“

---

<sup>1)</sup> C. Neumann, Über die Prinzipien der Galilei-Newtonschen Theorie Antrittsvorlesung. Leipzig 1870.

Fig. 18. Seite 5 der Einleitung des Buches von Kopff (1923a)

## Erster Teil.

# Spezielle Relativitätstheorie.

### § 1. Das Galileische Relativitätsprinzip. Die Prinzipie der Relativitätstheorie.

Schon die klassische Mechanik kennt ein Relativitätsprinzip, dessen genauere Betrachtung uns unmittelbar zu der Problemstellung der Einsteinschen Relativitätstheorie hinführt.

Das Newtonsche Grundgesetz der Mechanik wird in einem Cartesischen Koordinatensystem — es sei stets ein rechtshändiges System zugrunde gelegt — durch drei Differentialgleichungen dargestellt:

$$(1) \quad X - m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0, \quad Y - m \frac{d^2 y}{dt^2} = 0, \quad Z - m \frac{d^2 z}{dt^2} = 0.$$

$X, Y, Z$  sind die Komponenten einer auf die Masse  $m$  wirkenden Kraft, die zweiten Ableitungen der Koordinaten  $x, y, z$  nach der Zeit sind die Beschleunigungskomponenten dieser Masse. Das Koordinatensystem  $K$ , für welches die Gleichungen (1) die Beschreibung der Bewegung von  $m$  geben, wird als ruhendes oder Galileisches (bzw. Inertialsystem) bezeichnet. In ihm wird, wie aus den Grundgleichungen hervorgeht, ein Massenpunkt, auf den keine äußere Kraft wirkt, entweder ruhen oder sich gleichförmig und geradlinig fortbewegen. Die Gültigkeit des Galileischen Trägheitsgesetzes ist also an das Galileische Koordinatensystem  $K$  gebunden.

Wir legen uns nun die Frage vor: Was wird aus dem mechanischen Grundgesetz (und dem Trägheitsgesetz), wenn wir die Bewegungsvorgänge nicht mehr auf ein „ruhendes“ Koordinatensystem beziehen?

*Die klass. Mechanik wird  
Schwächen  
der klass. Mech.  
Absoluter  
Raum  
= Koordinatsystem  
der Newt. Mech.*

Fig. 19. Seite 1 von § 1 des Buches von Kopff (1923a)

Die Astronomie vermag gegenwärtig — und vielleicht noch auf lange Zeit hinaus — keine entscheidende Antwort auf die Frage nach der Endlichkeit der Welt zu geben, wenn die Möglichkeit derselben auch durchaus nicht von der Hand zu weisen ist<sup>1)</sup>. W. de Sitter<sup>2)</sup> vor allem hat im Zusammenhang mit der Relativitätstheorie untersucht, ob unsere astronomischen Beobachtungsergebnisse mit der Annahme einer endlichen Welt vereinbar sind und Widersprüche nicht gefunden. Er hat dabei den schon früher (S. 174) gegebenen Wert für den Krümmungsradius des Universums hergeleitet. Doch das sind erste Versuche, die, so erfreulich ihre Ergebnisse für die Relativitätstheorie sind, doch noch bedeutend weitergeführt werden müssen, und für welche das Beobachtungsmaterial nur sehr langsam gewonnen werden kann.

In gleicher Weise, wie die Gravitationsgleichungen I. Art ihrer endgültigen Bestätigung harren, sind wir also auch gegenwärtig nicht in der Lage, die Richtigkeit der Gravitationsgleichungen II. (bzw. III.) Art aus der Wirklichkeit nachzuweisen. Die Endlichkeit des Weltalls ist heute als eine Vorhersage der Relativitätstheorie zu betrachten, deren Wahrscheinlichkeit in dem Maße wächst, in welchem das Prinzip der Relativität aller Bewegungsvorgänge sich an anderen Erscheinungen bewährt. Notwendig aber wird es sein, diese Endlichkeit einmal aus den Beobachtungen unmittelbar herzuleiten.

Auch heute gilt noch, was H. Weyl in seinem grundlegenden Werk „Raum, Zeit, Materie“ (1. Auflage) über die Relativitätstheorie sagt: „Ihre eigentliche Stütze findet sie weniger in der Erfahrung, als in ihrer eigenen inneren Folgerichtigkeit, durch welche sie der klassischen Mechanik ganz erheblich überlegen ist, und darin, daß sie in einer die Vernunft aufs höchste befriedigenden Weise das Rätsel der Relativität der Bewegung und der Gravitation auf einen Schlag löst.“

Ernste Widersprüche zwischen der Relativitätstheorie und der Wirklichkeit liegen freilich gegenwärtig nirgends vor; soweit Widersprüche bestehen, klären sie sich anscheinend mehr und mehr zugunsten der Relativitätstheorie auf. Aber erst die Zukunft kann den Nachweis der völligen Übereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung erbringen.

<sup>1)</sup> Vgl. Die Naturwissenschaften 9. Jahrg. 1921. S. 9 u. 773.

<sup>2)</sup> W. de Sitter, On Einsteins theory of gravitation, and its astronomical consequences. 3. paper. Monthly Notices of R. Astron. Society. Vol. 78. No. 1. Nov. 1917 und W. de Sitter, On the curvature of space. K. Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings Vol. 20. S. 229. 1917.

Ob Grav. II a II mit Endgült. Lösung?  
 Widerspruch?

Fig. 20. Letzte Seite (S. 198) des Textes des Buches von Kopff (1923a)

### 4.4.3 Die englische Ausgabe von 1923

*Im Literatur-Verzeichnis aufgeführt unter:* Kopff, A. 1923b

*Bibliographische Angaben:*

A. Kopff, Professor of Astronomy at the University of Heidelberg: The Mathematical Theory of Relativity. Translated by H. Levy, M.A., D.Sc., F.R.S.E., Asst. Prof. of Mathematics, Imperial College of Science, London. With Three Diagrams. Methuen & Co. Ltd., 36 Essex Street W.C., London. This Translation First Published in 1923. Printed in Great Britain.

*Hinweis auf Scans:*

In den Fig. 21 bis 26 geben wir Scans des Einbands, der Titelseite, des Vorworts, des Inhaltsverzeichnisses und der ersten Seite der Einleitung wieder.

*Preis:*

Englische Ausgabe: 8 Shilling 6 Pence net.

Amerikanische Ausgabe: US\$ 3,20.

*Grundlage:*

Die englische Übersetzung beruht allein auf der ersten deutschen Auflage von 1921. Im Gegensatz zur italienischen Übersetzung ist keine Aktualisierung, weder durch Kopff noch seitens des Übersetzers vorgenommen worden. Es gibt auch nur eine Übersetzung des originalen Vorworts von Kopff, und kein Vorwort des Übersetzers.

*Übersetzer:*

Übersetzer der englischen Ausgabe war der Mathematiker Hyman Levy (1889-1975). Er war in Edinburgh geboren, aber seine Mutter stammte aus Deutschland und sein Vater aus Rußland. Levy hatte auch in Göttingen bei Hilbert und Runge studiert. Seit 1920 war er Assistant Professor of Mathematics am Royal College of Science des Imperial College of Science and Technology in London. 1923 erhielt er dort eine volle Professur für Mathematik.

*Besonderheiten:*

Von der englischen Übersetzung ist 1923 auch eine amerikanische Ausgabe bei E. P. Dutton in New York erschienen, die uns aber nicht vorliegt. Für diese amerikanische Ausgabe vermerkt die in Kapitel 4.4.7 unter (3a) zitierte Rezension von Reynolds: „printed, however, in Aberdeen“. Die englische und die amerikanische Ausgabe scheinen inhaltlich identisch zu sein. Allerdings wird für die amerikanische Ausgabe gelegentlich als Seitenzahl 214 (statt 212) angegeben.

*Kommentar:*

Die englische Übersetzung hält sich eng an die deutsche Fassung. Sie erscheint uns gut gelungen. Auffällig ist für uns nur, daß auf der letzten Text-Seite des Buches (S. 212) das Zitat aus Weyl (1918, S. 198) mit seinem Lob der Relativitätstheorie in deutscher Sprache wiedergegeben und nicht übersetzt wird.

Einige Rezensionen der englischen Ausgabe von Kopffs Buch zitieren wir in Kapitel 4.4.7, Punkt (3a) bis (3c).

Ein Druckfehler-Verzeichnis zur englischen Übersetzung ist uns nicht bekannt.

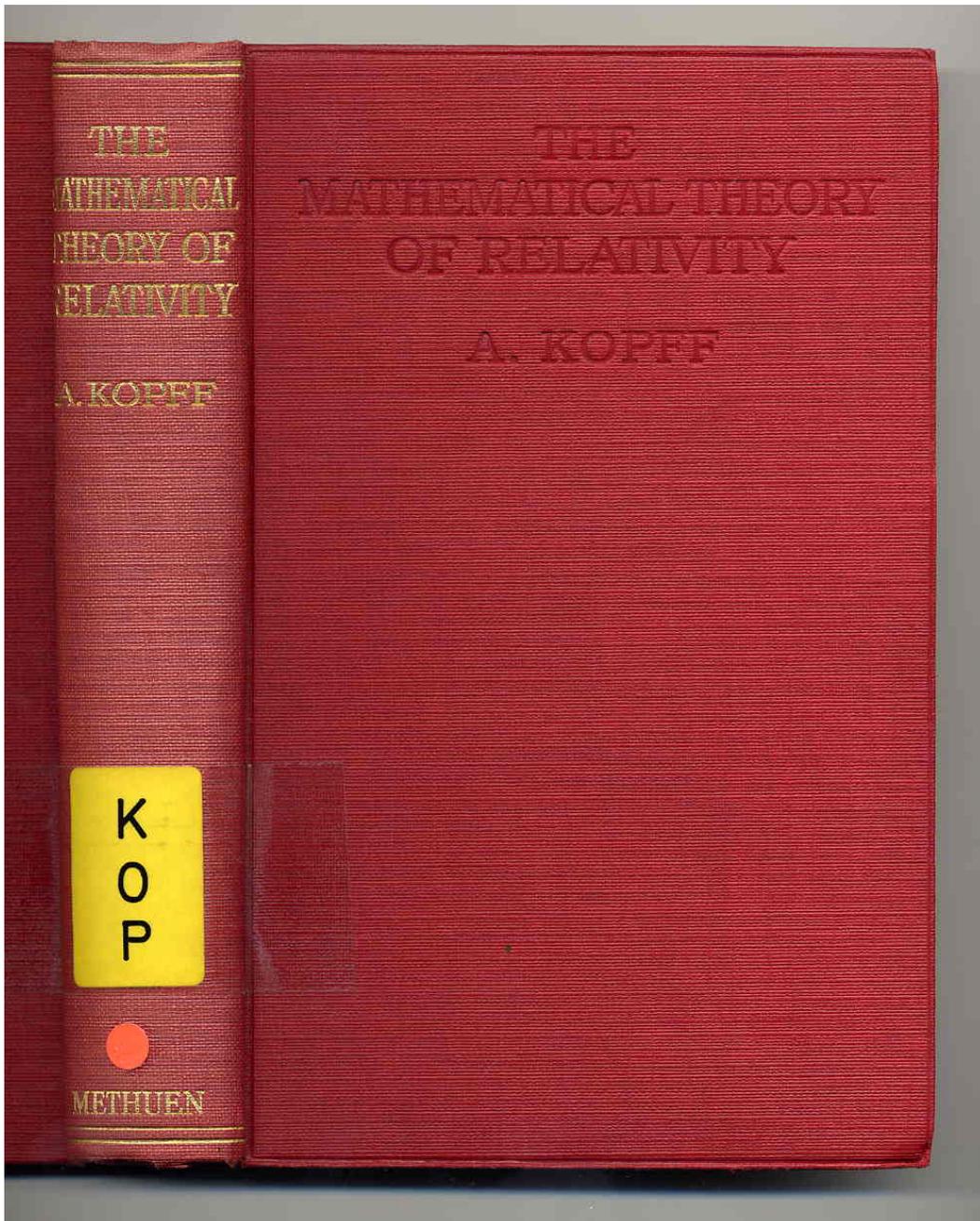


Fig. 21. Einband der englischen Ausgabe (Kopff 1923b)

PH/KOP:A-23

*Anchis*

# THE MATHEMATICAL THEORY OF RELATIVITY

BY

A. KOPFF

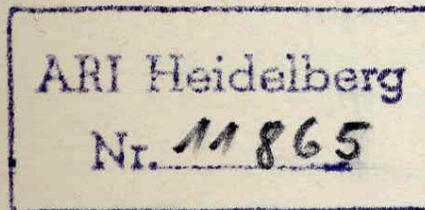
PROFESSOR OF ASTRONOMY AT THE UNIVERSITY OF HEIDELBERG

TRANSLATED BY

H. LEVY, M.A., D.SC., F.R.S.E.

ASST. PROF. OF MATHEMATICS, IMPERIAL COLLEGE OF SCIENCE, LONDON

WITH THREE DIAGRAMS



METHUEN & CO. LTD.  
36 ESSEX STREET W.C.  
LONDON

Fig. 22. Titelblatt der englischen Ausgabe (Kopff 1923b)

## PREFACE

THE present introduction to the theory of relativity as expounded by Einstein arose out of a series of lectures delivered at the University of Heidelberg in the winter and summer terms 1919-20. The object of this work is to reproduce in the simplest possible terms the investigations that have been conducted into the foundations of this theory, and as a consequence the treatment is necessarily of a mathematical nature. Without probing deeply into the mathematical aspect of the problem of relativity the lines of thought pursued in that theory cannot be fully grasped. In the fullest sense the theory of relativity falls within the scope of theoretical physics which is itself merely the mathematical description of physical processes.

As this work purposes being a first introduction to the subject, the mathematical and physical equipment required for its study is approximately that acquired during the first few terms of a college course.

That such an introduction has been undertaken by an astronomer need not be wondered at; for the theory of relativity is as concerned with astronomy as with physics not the least because its verification is for the moment to be sought in the sphere of astronomy.

A. KOPFF

HEIDELBERG-KÖNIGSTUHL

*February, 1921*

# CONTENTS

	PAGE
PREFACE . . . . .	v
WORKS OF REFERENCE . . . . .	viii
INTRODUCTION . . . . .	i

## PART I

### THE SPECIAL THEORY OF RELATIVITY

CHAP.		
I.	THE GALILEAN PRINCIPLE . . . . .	7
II.	ISOTROPY OF SPACE—RELATIVITY OF TIME AND SPACE MAGNITUDES . . . . .	18
III.	SPACE-TIME CO-ORDINATES AND THE LORENTZ TRANS- FORMATION . . . . .	27
IV.	SPATIAL AND TEMPORAL WORLD VECTORS . . . . .	35
V.	GEOMETRICAL AND MECHANICAL CONSEQUENCES OF THE LORENTZ TRANSFORMATION . . . . .	46
VI.	OLDER VECTOR AND TENSOR ANALYSIS—FUNDA- MENTAL EQUATIONS OF ELECTRODYNAMICS . . . . .	57
VII.	GENERAL TENSOR ANALYSIS (PART I) . . . . .	73
VIII.	THE ELECTRODYNAMICS OF A VACUUM . . . . .	88
IX.	THE DYNAMICS OF THE SPECIAL RELATIVITY THEORY —MATTER AND ENERGY . . . . .	104

## PART II

### THE GENERAL THEORY OF RELATIVITY

X.	THE PRINCIPLE OF EQUIVALENCE . . . . .	115
XI.	THE CONNECTION BETWEEN THE GENERAL THEORY OF RELATIVITY AND RIEMANN'S GEOMETRY . . . . .	129

Fig. 24. Seite 1 des Inhaltsverzeichnisses der englischen Ausgabe (Kopff 1923b)

CONTENTS		vii
CHAP.		PAGE
XII.	GENERAL TENSOR ANALYSIS (PART II) : THE FUNDAMENTAL EQUATIONS OF THE GENERAL THEORY OF RELATIVITY . . . . .	154
XIII.	THE EINSTEIN GRAVITATION THEORY . . . . .	166
XIV.	SPECIAL CASES OF THE THEORY OF GRAVITATION— THE GRAVITATION FIELD OF THE STARS . . . . .	187
INDEX	. . . . .	213

Fig. 25. Seite 2 des Inhaltsverzeichnisses der englischen Ausgabe (Kopff 1923b)

# THE MATHEMATICAL THEORY OF RELATIVITY

## INTRODUCTION

ON a first study of the Theory of Relativity there is a serious danger to the student of missing the main issues and becoming involved in a mass of detail. For the proper understanding of what follows, therefore, it will simplify matters if an attempt is made here in the introduction to lay bare the fundamental ideas involved, in so far as this is possible without recourse to mathematical treatment. It follows that many things will be said here that will afterwards require repetition.

Principal among the propositions in physics, the theory of relativity asserts:—

“ All movements in Nature are relative as between masses or quantities of energy ” (“ Principle of Relativity ”).

The theory therefore stands out initially in contrast with classical physics in that the latter recognizes both *absolute* and *relative* motions. Consider a few simple examples. A train moving uniformly in a straight line with reference to objects in its neighbourhood is a case of relative motion ; more generally the uniform rectilinear motion of one mass with reference to another is such a case. To describe the motion we may lay the co-ordinate axes of reference either in the moving mass or in the mass of reference, and in both instances an identical form of description is derived for the motion. Physically the two systems of axes are indistinguishable, and we are equally justified in using either.

When rotational motion, however, is regarded from the standpoint of classical dynamics, conditions are very different. If a body is in rotation with reference to a system of co-ordinates

I

Fig. 26. Seite 1 der Einleitung der englischen Ausgabe (Kopff 1923b)

#### 4.4.4 Die italienische Ausgabe von 1923

*Im Literatur-Verzeichnis aufgeführt unter:* Kopff, A. 1923c

*Bibliographische Angaben:*

Augusto Kopff, dell'Università e dell'Osservatorio di Heidelberg: I fondamenti della Relatività Einsteiniana. Edizione italiana a cura di Rafaele Contu e Tomaso Bembo. Prefazione di G. Armellini. Valore e interpretazione della Teoria negli scritti originali di A. Aliotta, E. Bianchi, G. Boccardi, A. Bonucci, P. Burgatti, V. Cerulli, P. Emanuelli, F. Enriques, E. Fermi, G. Fubini, G. Gianfranceschi, M. La Rosa, Q. Majorana, E. Rignano, U. Spirito, A. Tilgher, E. Troilo, É. Borel, H. Weyl. Complementi di G. Castelnuovo e T. Levi-Civita. Bibliografia - Formulario - Indici. Ulrico Hoepli, Editore libraio della real casa. Milano - 1923. XXX und 456 und 17 Seiten.

*Hinweis auf Scans:*

In den Fig. 28 bis 45 geben wir Scans zahlreicher Seiten wieder, insbesondere des Titelblatts, der Vorworte von Kopff und der Übersetzer, sowie die Inhaltsverzeichnisse. Die Fig. 38 bis 40 zeigen Scans der Arbeit von Enrico Fermi.

Scans aller Seiten der italienischen Ausgabe sind online verfügbar unter:

<http://www.bookprep.com/read/mdp.39015067269574>

(Die zunächst erscheinende Leitseite zeigt fälschlicherweise den Titel der englischen Übersetzung. Bei den gescannten Seiten handelt es sich aber um diejenigen der italienischen Ausgabe!)

*Preis:* 54 Lire.

*Grundlage:*

Die Grundlage der italienischen Ausgabe ist nicht explizit angegeben worden. Die Übersetzer hatten offenbar einerseits die gedruckte erste Ausgabe von 1921 zur Verfügung. Andererseits ist dem Vorwort der Übersetzer zu entnehmen, daß ihnen Kopff eine vollständig revidierte Fassung des Kapitels 11 (Die Zusammenhänge der allgemeinen Relativitätstheorie mit der Riemannschen Geometrie) und eine teilweise Überarbeitung des Kapitels 14 (Besondere Fälle der Gravitationstheorie. Das Gravitationsfeld der Sterne.) zukommen ließ. Dadurch war das den Übersetzern vorliegende Material wohl de facto identisch mit der zweiten deutschen Auflage von 1923. Das ist auch deshalb plausibel, weil Kopffs Vorwort zur zweiten Auflage vom Juni 1922 stammt. Wenn Kopff den Übersetzern seine Revisionen spätestens im Juni 1922 zugänglich gemacht hat (also vor Antritt seiner Schiffsreise anlässlich der Sonnenfinsternis-Expedition zur Weihnachtsinsel (siehe Kapitel 4.5)), dann hatten diese genügend Zeit, die Änderungen in ihrer Übersetzung zu berücksichtigen. Denn nach dem Datum des Vorworts der Übersetzer haben diese ihre Arbeit erst im Oktober 1922 abgeschlossen.

*Übersetzer:*

Übersetzer waren Rafaele Contu und Tomaso Bembo. Die Ortsangabe am Ende des Vorworts der Übersetzer, „Milano-Chemnitz“, deutet darauf hin, daß sich einer der Übersetzer mindestens zeitweise in Deutschland aufgehalten hat.

*Besonderheiten:*

An die italienische Übersetzung sind eine Reihe weiterer, kürzerer Arbeiten angefügt. Es handelt sich um Artikel, die entweder die Bedeutung („valore“) der Relativitätstheorie herausstellen, oder um Kommentare („interpretazione“), oder um Ergänzungen („complementi“) zu dieser Theorie. Die Autoren der zusätzlichen Artikel sind (mit Ausnahme von Weyl) alles Italiener. Darunter sind noch heute sehr bekannte Wissenschaftler, wie z.B. Fermi, Levi-Civita und Majorana. Am häufigsten wird die Arbeit des jungen Enrico Fermi (1901-1954) über „Le masse nella Teoria della Relatività (Die Masse in der Relativitätstheorie)“ zitiert, die auf den Seiten 342-344 des Buches veröffentlicht wurde. Fermi erhielt 1938 den Nobelpreis für Physik für seine kernphysikalischen Arbeiten. Eines der italienischen Vorworte (Prefazione) des Werkes stammt von dem Astronomen G. Armellini (1887-1958) aus Rom. Er unterzeichnet als ein Mitglied der Internationalen Kommission für Relativität[*stheorie*]. Über diese Kommission konnten wir keine Informationen finden. Vielleicht war sie eine Vorläuferin der heutigen „International Commission on General Relativity and Gravitation“.

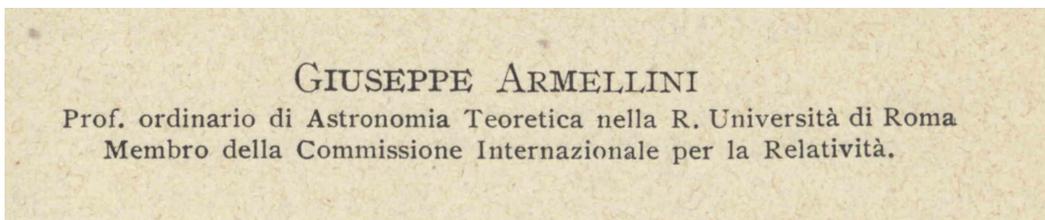


Fig. 27. Unterschrift von Armellini unter eines der Vorworte in der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

*Kommentar:*

Die italienische Fassung des Buches von Kopff ist mit höchster Wahrscheinlichkeit in keiner deutschen Bibliothek vorhanden; jedenfalls ist sie in keinem der zugänglichen online-Kataloge nachgewiesen. Die von uns gezeigten Scans stammen aus einem Exemplar der Universitätsbibliothek Leiden.

Die italienische Übersetzung (Kopff 1923c) ist die einzige Fassung des Buches von Kopff, die sich noch heute in der überlieferten Privatbibliothek von Einstein befindet <sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup>Freundliche Mitteilung von Frau Dr. Barbara Wolff, Albert Einstein Archives der Hebrew University in Jerusalem

AUGUSTO KOPFF

DELL' UNIVERSITÀ E DELL' OSSERVATORIO DI HEIDELBERG

I FONDAMENTI

DELLA

RELATIVITÀ EINSTEINIANA

EDIZIONE ITALIANA A CURA DI

RAFAELE CONTU E TOMASO BEMBO

PREFAZIONE DI G. ARMELLINI

VALORE E INTERPRETAZIONE DELLA TEORIA

NEGLI SCRITTI ORIGINALI DI

A. ALIOTTA ✦ E. BIANCHI ✦ G. BOCCARDI ✦ A. BONUCCI ✦ P. BUR-  
GATTI ✦ V. CERULLI ✦ P. EMANUELLI ✦ F. ENRIQUES ✦ E. FERMI  
G. FUBINI ✦ G. GIANFRANCESCHI ✦ M. LA ROSA ✦ Q. MAJORANA  
✦ E. RIGNANO ✦ U. SPIRITO ✦ A. TILGHER ✦ E. TROILO ✦  
É. BOREL ✦ H. WEYL

COMPLEMENTI DI G. CASTELNUOVO E T. LEVI-CIVITA

BIBLIOGRAFIA - FORMULARIO - INDICI

ULRICO HOEPLI

EDITORE LIBRAIO DELLA REAL CASA  
MILANO

1923

Fig. 28. Titelblatt der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

## INDICE SCHEMATICO

---

	Pag.
DEDICA . . . . .	V
PREFAZIONI E AVVERTENZE . . . . .	IX
AGGIUNTE E CORREZIONI . . . . .	XXIX
INTRODUZIONE . . . . .	I
CAPITOLO I. — Il principio di Relatività galilejano. I principi della Teoria della Relatività . . . . .	9
CAPITOLO II. — La isotropia dello spazio nella Fisica e la relatività delle grandezze temporali e spaziali . . . . .	24
CAPITOLO III. — Le coordinate spazio-temporali e la trasformazione del Lorentz. . . . .	37
CAPITOLO IV. — Vettori universali spazialoidi e temporaloidi .	49
CAPITOLO V. — Conseguenze geometriche e meccaniche della trasformazione del Lorentz . . . . .	64
CAPITOLO VI. — Dell'analisi vettoriale e tensoriale classica. Le equazioni fondamentali dell'Elettrodinamica . . . . .	79
CAPITOLO VII. — Analisi tensoriale generale ( <i>1<sup>a</sup> parte</i> ) . . . . .	103
CAPITOLO VIII. — Elettrodinamica dello spazio vuoto . . . . .	123
CAPITOLO IX. — La Meccanica della Teoria della Relatività particolare. Materia ed Energia . . . . .	143
CAPITOLO X. — Il principio di equivalenza. . . . .	159
CAPITOLO XI. — Teoria della Relatività generale e geometria del Riemann. . . . .	176
CAPITOLO XII. — Analisi tensoriale generale ( <i>2<sup>a</sup> parte</i> ). Le equazioni fondamentali della Teoria della Relatività generale . . . . .	207
CAPITOLO XIII. — La Teoria della gravitazione. . . . .	222
CAPITOLO XIV. — Casi particolari della Teoria della gravitazione. Il campo gravitazionale delle stelle . . . . .	246
COMPLEMENTI (Scritti di G. Castelnuovo e T. Levi-Civita) e BIBLIOGRAFIA . . . . .	279
VALORE E INTERPRETAZIONE DELLA TEORIA (Scritti di A. Aliotta, E. Bianchi, G. Boccardi, A. Bonucci, P. Burgatti, V. Cerulli, P. Emanuelli, F. Enriques, E. Fermi, G. Fubini, G. Gianfranceschi, M. La Rosa, Q. Majorana, E. Rignano, U. Spirito, A. Tilgher, E. Troilo, É. Borel, H. Weyl) . . . . .	323
INDICI . . . . .	429
FORMULARIO vedasi in fine al volume.	

Fig. 29. Kurzes Inhaltsverzeichnis der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

---

PREFAZIONE DELL'AUTORE

ALL'EDIZIONE ITALIANA

---

*La Teoria della Relatività è stata oggetto di molta attenzione e di serio esame per gli studiosi che ad essa si sono volti: perchè il pensiero che la informa e la coincidenza del suo apparire con il momento attuale, si sono manifestati come qualcosa di necessario allo sviluppo della concezione fisica del mondo.*

*Qualche dettaglio può essere errato, qualche parte non resisterà alla critica, forse; non è possibile, oggi, precisare nel tempo la vita della Teoria. Ma ben può dirsi che essa rappresenta un indirizzo scientifico necessario, e che lo sviluppo intellettuale dell'umanità non può prescindere da essa.*

*È necessario rilevare che la Teoria ha la sede appropriata nel campo delle concezioni fisiche del Mondo. Se in campi diversi essa determina il sorgere di concetti affini, non possiamo dolercene; dobbiamo però, e con buon diritto, affermare che tali concetti non hanno a che fare con la Teoria della Relatività. La quale è: Fisica; ma Fisica intesa nel più ampio significato della parola; non cioè esame di singoli fenomeni della natura e della esperienza e ricerca delle loro spiegazioni, ma comprensione di tutti i fenomeni fisici da un punto di vista unitario. Ben si comprende, per ciò: come i suoi metodi di trattazione non siano soltanto quelli comuni alla Fisica; come essa debba ricorrere, per risolvere i problemi che le si presentano, ai metodi ed al linguaggio propri della filosofia; come sia merito precipuo della Teoria il riavvicinamento intenso degli studiosi ai massimi problemi generali della Fisica.*

*Errerebbero e fisici e filosofi se gli uni indipendentemente dagli altri volessero accingersi ad elaborare ed a chiarire la Teoria. Le due classi di studiosi non si debbono scindere: posson magari trattare separatamente la Teoria; ma esaminando insieme ogni sin-*

Fig. 30. Seite 1 des Vorworts von Kopff in der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

gola questione con minuziosa cura, per decidere a volta a volta quali metodi siano da invocarsi con maggiore utilità: quelli della Fisica o quelli della Filosofia.

Due considerazioni varranno a chiarire ciò.

Si è discusso spesso intorno ai rapporti intercorrenti tra la Teoria dell'EINSTEIN e la Critica della Conoscenza del KANT. V'è chi considera la Relatività come il completamento della filosofia kantiana, v'è chi scorge nei due sistemi contraddizioni inconciliabili. Né gli uni né gli altri colgono esattamente nel segno. La Teoria della Relatività va, certo, oltre i confini della conoscenza kantiana e per i concetti di Spazio e di Tempo e per i suoi rapporti con la geometria non-euclidea; ma ciò non significa affatto che completi o si apponga contro le idee del KANT: ci troviamo di fronte a due correnti ben distinte.

Il compito della Filosofia d'innanzi ai concetti di Spazio e di Tempo si è quello di analizzarli, di verificare se quelli introdotti dalla Teoria della Relatività siano o no contraddicenti con le risultanze della Psicologia e della Conoscenza teoretica. E la Filosofia ha stabilito che a tal riguardo la Teoria della Relatività è più vicina alla Teoria della conoscenza di quanto non lo fosse la Fisica classica.

La Teoria dell'EINSTEIN invece, si occupa dello spazio empirico e del tempo empirico. Soltanto considerazioni di ordine fisico posson decidere se, per la rappresentazione dei fenomeni naturali debba applicarsi, nei riguardi dello spazio e del tempo, la Geometria euclidea o la Geometria non-euclidea.

Una seconda considerazione. La Teoria della Relatività espone leggi naturali che sussistono indipendentemente dai sistemi di coordinate ai quali sono riferite. La Fisica esige tali leggi partendo dal fatto sperimentale che tutti i fenomeni di moto sono fenomeni di masse o di energie rispetto ad altre masse od energie, cioè relativi.

La Filosofia, se, nella Storia delle Scienze naturali esatte, palesa uno sviluppo graduale dalla osservazione alla conoscenza e, così come la Teoria della Relatività, raggiunge in sì fatto campo una certa definitività giacchè formula leggi naturali invarianti, non può però motivarne la imprescindibilità; il che, invece è possibile, immediatamente ed esclusivamente, per via fisica.

La Teoria einsteiniana non rompe la continuità del progresso scientifico. Di tal fatto, da vero molto importante, bisogna tener conto nel giudicare la Teoria: alla Filosofia è riservato appunto il prezioso ufficio di scoprire i progressi della Scienza.

Fig. 31. Seite 2 des Vorworts von Kopff in der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

Dalle due considerazioni fatte appare con chiarezza come intimamente si compenetrino nella Teoria della Relatività e la Fisica e la Filosofia; ma scaturisce anche la necessità, per chi si occupi della Teoria, di volgere la propria attenzione ai problemi della Fisica. Come il fisico non può afferrare compiutamente l'importanza della Teoria einsteiniana se gli son dissuete le mete ed i metodi della Filosofia, così non lo può il filosofo che ignora la Geometria non-euclidea o conosce solo imperfettamente la invarianza generale delle leggi della natura.

I problemi fondamentali sono quelli fisici. Per ciò questo volume si limita essenzialmente a presentar la Teoria sotto l'aspetto fisico-matematico: ed è necessario conoscerne il contenuto — sorvolando magari qualche sviluppo matematico — se si vuole comprendere la Teoria, se si vuole avere la preparazione necessaria a seguirne i successivi sviluppi e nel campo della Fisica e nel campo della Filosofia.

Mi auguro che anche l'edizione italiana del mio libro possa costituire un utile contributo al chiarimento e al progresso della Teoria einsteiniana.

Specola di Heidelberg, Aprile 1922.

AUGUSTO KOPFF.

Fig. 32. Seite 3 des Vorworts von Kopff in der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

---

## AVVERTENZE DEI TRADUTTORI

---

Anzitutto, grazie

al prof. KOPFF: per la Sua prefazione originale e per la revisione dell'edizione tedesca con il risultato di molte aggiunte e del rifacimento di talune parti — sopra tutto del capitolo XI (totale) e del capitolo XIV (parziale);

al prof. ARMELLINI: per la Sua dotta prefazione, per la correzione delle bozze, per i consigli che hanno guidata la nostra traduzione;

agli AUTORI degli scritti raccolti nella terza e quarta parte.

all'Editore grand'uff. Ulrico HOEPLI e al Tipografo cav. Umberto ALLEGRETTI, eccellenti collaboratori.

Abbiamo cercato di esser fedeli, per quanto è possibile, alla lezione tedesca; ma con libertà d'espressione (per amor di lingua) e talvolta con rifacimenti (per amor di tradizioni) non sostanziali, a volta a volta rilevati nel testo.

A concetti nuovi, o rinnovati, dovrebbero corrispondere parole nuove; nella letteratura relativistica tedesca il problema è stato risolto facilmente con l'uso, consueto in quella lingua, di parole composte. In italiano, francese, ed inglese non altrettanto bene: solo il DU PASQUIER ha tentato di risolverlo foggiando parole nuove con radici e desi-

Fig. 33. Seite 1 des Vorworts der Übersetzer der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

nenze della lingua greca classica. Il tentativo è encomiabile, ma non sempre felice nei risultati.

Noi abbiamo preferito tradurre alla lettera o interpretare nei termini i concetti dell'EINSTEIN, perchè, in ultima analisi, opere come queste ad altro non servono se non a permettere la lettura della intera opera dell'EINSTEIN, con speranza di ritrarne conoscenza.

Abbiamo divisi i capitoli in paragrafi: la divisione è riescita talvolta difettosa per vizio d'origine, ma non disutile ai lettori.

I richiami fatti con numeretti si riferiscono a note bibliografiche raccolte in fondo ad ogni capitolo; quelli con asterischi a note di chiarimento, composte a piè di pagina.

Avremmo voluto aggiungere all'opera del KOPFF due capitoli: uno storico su i precursori della Teoria, in ispecie italiani (BELTRAMI, GIOBERTI, RICCI), e su i contributi dati alla teoria da studiosi italiani; l'altro su la Geometria del WEYL oramai elaborata e su quella dell'EDDINGTON non ancora compiuta: ma il tempo che incalza ce lo impedisce e serbiamo il proponimento per la prossima edizione che si farà se questa avrà fortuna.

In fondo al volume, e da esso indipendente, trova posto un formulario nel quale sono raccolte, nel loro ordine numerale e, sempre che possibile, con la loro denominazione, le formule richiamate nelle pagine che seguono a qualche distanza quella nella quale sono date per la prima volta. Il fascicolo, per ciò, contiene oltre tutte le formule fondamentali, anche formule intermedie di esclusivo valore analitico; ha il solo scopo di facilitare allo studioso la let-

Fig. 34. Seite 2 des Vorworts der Übersetzer der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

tura del volume. Crediamo che tale sistema non sia stato mai adottato nè in Italia nè all'estero; ma l'esempio potrebbe essere seguito non inutilmente.

La Bibliografia fondamentale contiene tutte le opere dell'EINSTEIN e quelle importanti per originalità di sviluppo o di contributo: una *minima* parte, quindi, di tutte le pubblicazioni fatte su l'argomento e che sono contenute (un quarto circa) nella Bibliografia aggiunta al manuale Hoepli SCHMIDT-CONTU. Saremo molto grati a tutti quelli che potranno segnalarcene nuove o inviarci articoli note e memorie su la Relatività, presso il cortese editore.

Le opere straniere sono registrate nell'edizione originaria (l'ultima) e in una traduzione, se v'è (per esclusione: italiana, francese, inglese).

Ci è sembrato opportuno aggiungere all'opera del KOPFF scritti di chiari studiosi: a tal riguardo rimandiamo il lettore alle nostre *Avvertenze* e alla *Premessa* che li presentano.

Chiediamo la collaborazione di tutti i lettori per la correzione delle possibili mende tipografiche e concettuali: ve ne saranno a dispetto del nostro volere.

Possa la nostra fatica interessar qualcuno, invogliar qualche studioso a volgersi, per meditarla, verso questa Teoria che discussa e ridiscussa, sottoposta alla lima della più acuta critica, conservata integralmente o scalfità in ogni sua parte, apparirà — essendo — il prodotto più audace e più geniale tra quanti ne ha registrati la storia della Scienza fino ad oggi.

Milano-Chemnitz, ottobre 1922.

I TRADUTTORI.

Fig. 35. Seite 3 des Vorworts der Übersetzer der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

---

## INTRODUZIONE

---

Una trattazione elementare della Teoria della Relatività — come vuole essere questa — può presentare l'inconveniente di un largo sviluppo dei dettagli a tutto scapito delle questioni principali. Tentiamo per ciò di esporne qui i concetti fondamentali, senza far ricorso alle matematiche; condizione questa, che rende più difficile il compito.

La Teoria pone a fondamento della Fisica, la seguente proposizione: *tutti i movimenti della natura sono movimenti di masse o di energie rispetto ad altre masse od energie*. Tutti i fenomeni di moto sono per ciò *relativi* (Principio di Relatività). Or bene, tale principio è contrario ai dettami della Fisica classica la quale ammette tanto movimenti *assoluti* quanto movimenti *relativi*. Rifacciamoci a taluni esempi semplici: è un movimento *relativo* quello di un treno in moto *rettilineo ed uniforme*, rispetto ai binari, al terreno circostante; o anche più generalmente, il movimento rettilineo ed uniforme di una massa rispetto ad un'altra massa di riferimento. Per la descrizione del movimento sarà necessario servirsi di un sistema di coordinate: ebbene *tale descrizione* sarà la *stessa* tanto se il sistema sia solidale con la massa in moto, quanto se il sistema sia solidale con la massa di riferimento; fisicamente non è possibile distinguere i due sistemi e per ciò essi sono equipollenti.

1 — KOPFF, *La Relatività particolare*.

Fig. 36. Seite 1 der Einleitung der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

---

## CAPITOLO I

### IL PRINCIPIO DI RELATIVITÀ GALILEJANO I PRINCIPII DELLA TEORIA DELLA RELATIVITÀ

---

#### 1. Principio di Relatività galilejano.

Un Principio di Relatività era conosciuto già dalla Meccanica classica: esaminato con cura esso ci permette, senz'altro, di fissare il problema della Relatività einsteiniana.

La seconda legge fondamentale della Meccanica newtoniana, in un sistema di coordinate cartesiane — considereremo sempre un sistema *destrogiro* — è esprimibile con le equazioni differenziali:

$$1 \quad X - m \frac{d^2x}{dt^2} = 0 \quad , \quad Y - m \frac{d^2y}{dt^2} = 0 \quad , \quad Z - m \frac{d^2z}{dt^2} = 0,$$

dove:  $X, Y, Z$ , sono *le* componenti di una forza agente su la massa  $m$ ; le derivate seconde (rispetto al tempo) delle coordinate  $x, y, z$  sono *le* componenti dell'accelerazione impressa dalla forza su la massa  $m$ . Chiameremo il sistema di coordinate  $K$ , al quale si è riferito nelle equazioni 1 il moto della massa  $m$ : *sistema allo stato di quiete* o *sistema di GALILEO* o *inerziale*. In esso — come risulta dalle equazioni fondamentali — un punto materiale sul quale non agisca alcuna forza esterna, o si trova allo stato di quiete o si muove

Fig. 37. Seite 1 des ersten Kapitels der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

## 6.

## LE MASSE NELLA TEORIA DELLA RELATIVITÀ.

La grandiosa importanza concettuale della teoria della relatività, come contributo ad una più profonda comprensione dei rapporti tra spazio e tempo, e le vivaci e spesso appassionate discussioni a cui essa ha in conseguenza dato luogo anche fuori degli ambienti strettamente scientifici, hanno forse un po' distolta l'attenzione da un altro suo risultato che, per esser meno clamoroso e, diciamolo pure, meno paradossale, ha tuttavia nella fisica conseguenze non meno degne di nota, ed il cui interesse è verosimilmente destinato a crescere nel prossimo svilupparsi della scienza.

Il risultato a cui accenniamo è la scoperta della relazione che lega la massa di un corpo alla sua energia. La massa di un corpo, dice la teoria della relatività, è eguale alla sua energia totale divisa per il quadrato della velocità della luce. Già un esame superficiale ci mostra come, almeno per la fisica quale la si osserva nei laboratorii, l'importanza di questa relazione tra massa ed energia è tale da offuscare notevolmente quella delle altre conseguenze, quantitativamente lievissime, ma alle quali la mente si abitua con più sforzo. Valga un esempio: un corpo lungo un metro che si muovesse con la velocità, abbastanza rispettabile, di 30 km. al minuto secondo (eguale press'a poco alla velocità del moto della terra attraverso gli spazii) apparirebbe sempre lungo un metro ad un osservatore trascinato dal suo moto, mentre ad un osservatore fermo apparirebbe lungo un metro meno cinque milionesimi di millimetro; come si vede il risultato, per strano e paradossale che possa parere, è tuttavia molto piccolo, ed è da ritenere che i due osservatori non si metteranno a litigare per così poco. La relazione tra massa ed energia invece ci porta

Fig. 38. Seite 1 der Arbeit von Fermi in der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

senz'altro a delle cifre grandiose. Ad esempio se si riuscisse a mettere in libertà l'energia contenuta in un grammo di materia si otterrebbe un'energia maggiore di quella sviluppata in tre anni di lavoro ininterrotto da un motore di mille cavalli (inutili i commenti!). Si dirà con ragione che non appare possibile che, almeno in un prossimo avvenire, si trovi il modo di mettere in libertà queste spaventose quantità di energia, cosa del resto che non si può che augurarci, perchè l'esplosione di una così spaventosa quantità di energia avrebbe come primo effetto di ridurre in pezzi il fisico che avesse la disgrazia di trovar il modo di produrla.

Ma se anche una tale esplosione completa della materia non appare per ora possibile, sono però già in corso da qualche anno delle esperienze dirette ad ottenere la trasformazione degli elementi chimici uno nell'altro. Tale trasformazione, che si presenta naturalmente nei corpi radioattivi è stata recentemente ottenuta anche artificialmente da RUTHERFORD che, bombardando con delle particelle  $\alpha$  (corpuscoli lanciati con velocità grandissima dalle sostanze radioattive) degli atomi, è riuscito ad ottenerne la decomposizione. Ora a queste trasformazioni degli elementi uno nell'altro sono legati degli scambi energetici che la relazione tra massa ed energia ci permette di studiare in modo molto chiaro. Ad illustrarli valga ancora un esempio numerico. Si ha ragione di ritenere che il nucleo dell'atomo di elio sia costituito da quattro nuclei dell'atomo di idrogeno. Ora il peso atomico dell'elio è 4,002 mentre quello dell'idrogeno è 1,0077. La differenza tra il quadruplo della massa dell'idrogeno e la massa dell'elio, è dunque dovuta all'energia dei legami che uniscono i quattro nuclei di idrogeno per formare il nucleo dell'elio. Questa differenza è 0,029 corrispondente, secondo la relazione relativistica tra massa ed energia ad un'energia di circa sei miliardi di calorie per grammo-atomo di elio. Queste cifre ci dimostrano che l'energia dei legami nucleari è qualche milione di volte maggiore di quella dei più energici legami chimici e ci spiegano come contro il problema della trasformazione della materia, il sogno degli alchimisti, si siano per tanti secoli rotti gli sforzi degli ingegni più eletti, e come solo ora, adoperando i mezzi più energici a nostra disposizione, si sia riusciti ad ottenere questa trasformazione; in quantità del resto tanto minime da sfuggire alla più delicata analisi.

Fig. 39. Seite 2 der Arbeit von Fermi in der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

Bastino questi brevi accenni a dimostrare come la teoria della relatività, oltre a darci una interpretazione chiara delle relazioni tra spazio e tempo, sarà, forse in un prossimo avvenire, destinata ad esser la chiave di volta per la risoluzione del problema della struttura della materia, l'ultimo e più arduo problema della fisica.

Dott. ENRICO FERMI.

Fig. 40. Seite 3 der Arbeit von Fermi in der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

---

## INDICE-SOMMARIO

---

	<i>Pag.</i>
DEDICA .....	V
INDICE SCHEMATICO .....	VII
PREFAZIONI ED AVVERTENZE:	
dell' Autore .....	XI
del prof. G. Armellini .....	XV
dei Traduttori .....	XXV
AGGIUNTE E CORREZIONI .....	XXX
INTRODUZIONE .....	I
Note bibliografiche .....	6

### PARTE PRIMA: LA RELATIVITÀ PARTICOLARE.

CAPITOLO I. — <i>Il principio di Relatività galilejano. I principii della Teoria della Relatività</i> .....	9
1. Principio di Relatività galilejano .....	ivi
2. Elementi di calcolo vettoriale .....	13
3. Energia cinetica .....	19
4. I principii di Relatività einsteiniani .....	20
Note bibliografiche .....	23
CAPITOLO II. — <i>La isotropia dello spazio nella Fisica e la relatività delle grandezze temporali e spaziali</i> .....	24
1. Il sistema privilegiato .....	ivi
2. Gli esperimenti basali del Principio di Relatività particolare .....	26
3. Rinunzia all'etere .....	27
4. Propagazione della luce nel vuoto .....	28
5. Il tempo e la sua misura. La simultaneità .....	30
6. Misura delle lunghezze .....	35
Note bibliografiche .....	36
CAPITOLO III. — <i>Le coordinate spazio-temporali e la trasformazione del Lorentz</i> .....	37

Fig. 41. Seite 1 des ausführlichen Inhaltsverzeichnisses  
der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

	<i>Pag.</i>
1. Lo Spazio-Tempo.....	37
2. Il gruppo di trasformazioni del Lorentz.....	39
3. Il Principio di Relatività particolare e la trasformazione <i>L</i> .....	45
4. Principio di Relatività classico e principio einsteiniano.....	46
Note bibliografiche.....	48
<b>CAPITOLO IV. — Vettori universali spazialoidi e temporaloidi.....</b>	<b>49</b>
1. Le coordinate temporali.....	ivi
2. Distanze spaziali e temporali.....	51
3. Tempo proprio.....	53
4. Rappresentazione minkowskiana.....	54
5. Vettori spaziali e temporali.....	57
6. La velocità della luce, velocità limite.....	59
7. L'Universo del Minkowski.....	61
Nota bibliografica.....	63
<b>CAPITOLO V. — Conseguenze geometriche e meccaniche della trasformazione del Lorentz.....</b>	<b>64</b>
1. Primo postulato: Lunghezza, volume, forma.....	ivi
2. Secondo postulato: Il moto degli orologi.....	68
3. Terzo postulato: Composizione delle velocità — Esperimento del Fizeau.....	72
4. Composizione della velocità della luce.....	76
Note bibliografiche.....	78
<b>CAPITOLO VI. — Gli elementi dell'analisi vettoriale e tensoriale classica. Le equazioni fondamentali dell'Elettrodinamica.....</b>	<b>79</b>
1. Prodotto scalare e vettoriale.....	ivi
2. Rappresentazioni cartesiane.....	82
3. L'invarianza del prodotto scalare e delle leggi naturali espresse vettorialmente.....	84
4. Gradiente.....	86
5. Divergenza.....	89
6. Rotazione.....	91
7. Prodotti degli operatori grad, div, rot.....	92
8. Equazioni dell'Elettrodinamica.....	93
9. Tensori.....	95
Note bibliografiche.....	102
<b>CAPITOLO VII. — Analisi tensoriale generale (I<sup>a</sup> Parte).....</b>	<b>103</b>
1. Sistemi e trasformazioni affini. Vettori covarianti e controvarianti.....	ivi
2. Su i tensori di II ordine e d'ordine superiore.....	108
3. Parametri e invarianza.....	112
4. Algebra tensoriale.....	114
5. Tensori fondamentali.....	116
6. Differenziali dei tensori. Tensori associati.....	118
Note bibliografiche.....	120
Cenno storico sul calcolo differenziale assoluto.....	121

Fig. 42. Seite 2 des ausführlichen Inhaltsverzeichnisses der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

	<i>Pag.</i>
CAPITOLO VIII. — <i>Elettrodinamica dello spazio vuoto</i> .....	123
1. Le equazioni Maxwell-Lorentz sono invarianti rispetto alla trasformazione $L$ .....	ivi
2. Componenti del campo elettro-magnetico .....	130
3. Tetravettore forza .....	131
4. Tensore energia-impulso .....	132
5. La equazione fondamentale dell'Elettricità e dell'Ottica....	135
6. Equazione della conservazione dell'impulso.....	138
7. Impulso elettromagnetico. Equazioni energetiche .....	139
8. Conclusione .....	141
Note bibliografiche.....	142
CAPITOLO IX. — <i>La Meccanica della Teoria della Relatività parti-</i> <i>colare. Materia ed energia</i> .....	143
1. Energia ed impulso .....	ivi
2. Equazione fondamentale della Dinamica .....	145
3. Equazioni di moto di un punto materiale. Impulso ed energia.	148
4. La Teoria della Relatività particolare e la Meccanica classica.	151
5. La Teoria della Relatività particolare e la gravitazione ....	ivi
6. Materia ed Energia .....	152
Note bibliografiche.....	155
PARTE SECONDA: LA RELATIVITÀ GENERALE.	
CAPITOLO X. — <i>Il principio di equivalenza</i> .....	159
1. La rotazione è anch'essa un moto relativo.....	ivi
2. Il principio di Relatività generale .....	160
3. La Relatività dei movimenti e la Meccanica .....	161
4. Identità della massa inerte e della massa pesante .....	163
5. Principio di equivalenza .....	164
6. Spostamento dei raggi spettrali .....	166
7. La misura del tempo e il Principio di equivalenza .....	170
8. Campo centrifugo e campo gravitazionale .....	173
Note bibliografiche .....	174
CAPITOLO XI. — <i>Le relazioni tra la Teoria della Relatività generale</i> <i>e la Geometria del R i e m a n n</i> .....	176
1. Continuo euclideo e non-euclideo.....	ivi
2. Invarianza dei sistemi di coordinate locali .....	180
3. Invarianza dei sistemi di coordinate generali affini .....	182
4. Sistemi di coordinate gaussiane. La Geometria del R i e m a n n	183
5. Curvatura dello spazio. Invarianza generale dei $ds$ .....	193
6. Rappresentazioni parametriche e l'esperienza .....	195
7. I $g_{ik}$ e la metrica dell'Universo .....	198
8. Sguardo sommario alla Teoria della Relatività generale ....	204
Note bibliografiche.....	205

Fig. 43. Seite 3 des ausführlichen Inhaltsverzeichnisses  
der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

	<i>Pag.</i>
CAPITOLO XII. — <i>Analisi generale dei tensori (2<sup>a</sup> parte). Le equazioni fondamentali della Teoria della Relatività generale</i> .....	287
1. Tensori fondamentali .....	ivi
2. Il segno di $g$ . Espressione invariante del tetravolume.....	209
3. Equazione della geodetica universale .....	210
4. Simboli del Christoffel .....	212
5. Formazione di tensori per differenziazione .....	213
6. Altre formule notevoli .....	216
7. Equazioni fondamentali della Teoria della Relatività generale.	218
Note bibliografiche .....	221
CAPITOLO XIII. — <i>La Teoria della Gravitazione</i> .....	222
1. Il moto di un punto materiale .....	ivi
2. Potenziali ed equazioni del campo gravitazionale. Curvatura.	224
3. Forma generale delle equazioni gravitazionali .....	230
4. Generalizzazione delle leggi di conservazione .....	231
5. Equazione fondamentale della Teoria della Relatività generale ed equazioni gravitazionali .....	232
6. Equazioni gravitazionali della prima specie .....	234
7. Equazioni gravitazionali della seconda specie.....	235
8. Equazioni gravitazionali della terza specie .....	236
9. Spazio e materia .....	237
Note bibliografiche .....	244
CAPITOLO XIV. — <i>Casi particolari della Teoria della Gravitazione. Il campo gravitazionale delle stelle</i> .....	246
1. La Teoria del Newton caso particolare della teoria einsteiniana .....	ivi
2. Campo gravitazionale di un centro materiale.....	250
3. Lunghezze e durata nella Teoria della Relatività generale.	253
4. Deflessione dei raggi luminosi .....	255
5. Moto di un pianeta nel campo gravitazionale del Sole .....	259
6. La rotazione .....	266
7. Ipotesi della finitezza dell'Universo. Conclusione .....	275
Note bibliografiche .....	277
PARTE TERZA: COMPLEMENTI.	
AVVERTENZE.....	281
<i>La relatività del tempo e il campo gravitazionale nella teoria einsteiniana</i> , di G. CASTELNUOVO .....	283
<i>Su la determinazione sperimentale dei coefficienti di un <math>ds^2</math> einsteiniano</i> , di T. LEVI-CIVITA .....	306
<i>Bibliografia</i> , di R. CONTU .....	313

Fig. 44. Seite 4 des ausführlichen Inhaltsverzeichnisses  
der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

PARTE QUARTA: VALORE E INTERPRETAZIONE  
DELLA TEORIA DELLA RELATIVITÀ.

PREMESSA .....	325
<i>Scritti originali di astronomi, fisici e matematici:</i>	
1. E. BIANCHI: Su la documentazione astronomica della Teoria della Relatività .....	331
2. G. BOCCARDI .....	336
3. P. BURGATTI .....	338
4. V. CERULLI .....	340
5. P. EMANUELLI .....	341
6. E. FERMI: Le masse nella Teoria della Relatività .....	342
7. G. FUBINI .....	345
8. G. GIANFRANCESCHI .....	348
9. M. LA ROSA .....	351
10. Q. MAJORANA .....	355
12. E. RIGNANO .....	356
11. E. BOREL .....	358
13. H. WEYL .....	364
<i>Scritti originali di filosofi:</i>	
<i>Il valore filosofico della Teoria di Einstein</i> , di A. ALIOTTA.	375
<i>Aspetti idealistici della dottrina relativistica</i> , di A. BONUCCI .....	378
<i>La Relatività del movimento nell'antica Grecia</i> di F. ENRIQUES .....	385
<i>Il relativismo di Einstein e la filosofia</i> , di U. SPIRITO .....	401
<i>Il significato filosofico della Teoria di Einstein</i> , di A. TILGHER.	407
<i>Intorno al significato filosofico della Teoria della Relatività</i> , di E. TROJLO.	414
INDICE DEI COGNOMI .....	435
INDICE DEGLI ARGOMENTI .....	439
FORMULARIO.....	fuori testo

Fig. 45. Seite 5 des ausführlichen Inhaltsverzeichnisses  
der italienischen Ausgabe (Kopff 1923c)

#### 4.4.5 Die russische Ausgabe von 1933

Im Jahr 1933, also relativ spät, erschien auch eine russische Übersetzung<sup>31</sup>:

*Im Literatur-Verzeichnis aufgeführt unter:* Kopff, A. 1933a

*Bibliographische Angaben:*

Avzug Kopf: Osnovy teorii odnositel'nosti Ehjnshtejna. Perevod s nemetskogo. Pod redaktsiya V. K. Frederiksa. M.-L. GTTI. Moskau und Leningrad. 1933. 176 Seiten.

*Hinweis auf Scans:*

In Fig. 46 geben wir den Scan eines Ausschnitts aus dem Einband wieder.

*Preis:* unbekannt

*Grundlage:*

Die russische Übersetzung beruht auf der zweiten deutschen Auflage von 1923.

*Übersetzer:*

Übersetzer war der russische Physiker Vsevolod Konstantinovich Frederiks (1885-1944). Sein Name wird gelegentlich auch „Fréedericksz“ geschrieben. Er hatte in Genf promoviert und in Göttingen gearbeitet. 1918 kehrte er nach Rußland zurück. Obwohl seine Hauptarbeitsgebiete die Festkörperphysik und Flüssigkristalle waren, publizierte er auch auf vielen anderen Gebieten der Physik, so auch über Fragen der Relativitätstheorie. Im Zuge der von Stalin veranlaßten „Säuberungs“-Prozesse wurde er 1936 verhaftet, starb 1944 im Gefängnis und wurde 1956 amtlich rehabilitiert. Eine Lebensbeschreibung auf Englisch von Frederiks geben V. G. Chigrinov und V. V. Belyaev in der Zeitschrift „Liquid Crystals Today“, Vol. 6 (1996), Issue 4, p. 11. Siehe auch Vizgin und Frenkel (2002)<sup>32</sup>. Der Name von Frederiks ist heute noch bekannt durch den sogenannten „Fréedericksz-Übergang“ in Flüssigkristallen.

*Verlag:*

Der Verlag GTTI in Moskau und Leningrad war ein staatliches Unternehmen für die Veröffentlichung von technischer und theoretischer Literatur (Gosudarstvennoe izdatel'stvo tehniko-teoreticheskoy literatury).

---

<sup>31</sup>Auf die Existenz einer russischen Übersetzung des Kopffschen Buches hat uns freundlicherweise Frau Chihiro Kodama-Lambert B.A., Leiterin der Bibliothek des Instituts für Japanologie der Universität Heidelberg, hingewiesen. Bei der genaueren Identifizierung der russischen Übersetzung haben uns dann Frau Dr. Nina V. Kharchenko (Kiew) und Herr Dr. Anatolij E. Piskunov (Moskau) geholfen.

<sup>32</sup>Die Arbeit von Vizgin und Frenkel (2002), in der die russische Übersetzung des Buches von Kopff zitiert wird, wurde uns erst bekannt, nachdem wir auf anderem Wege von der Existenz der Übersetzung erfahren hatten

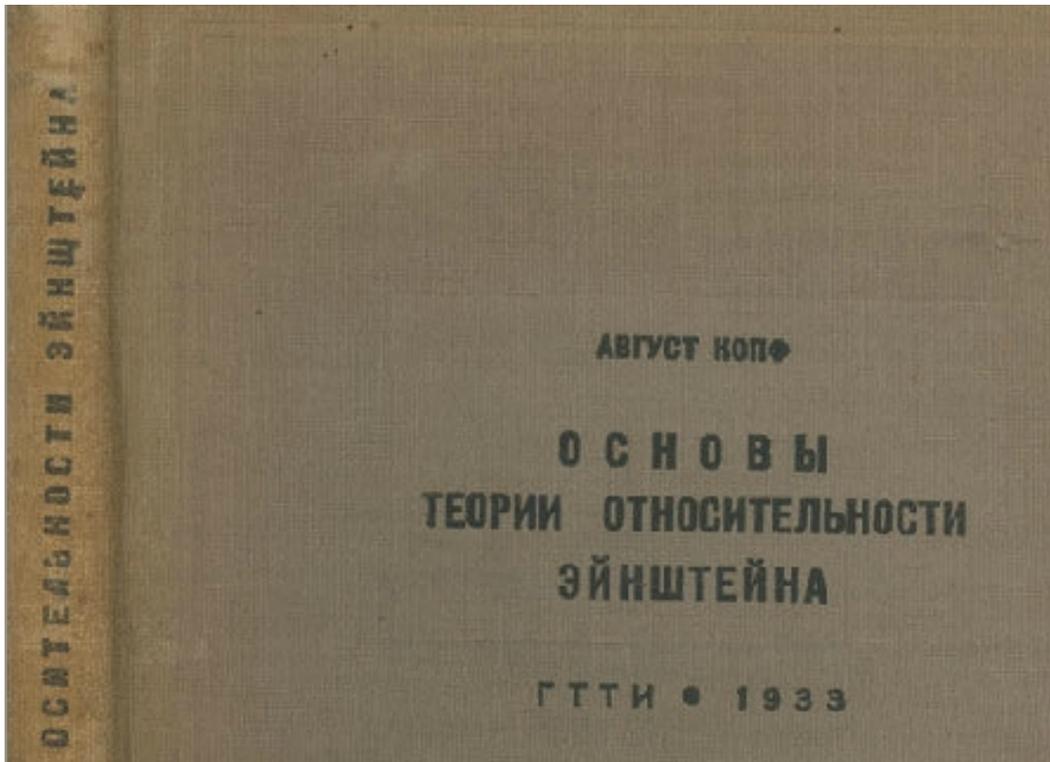


Fig. 46. Ausschnitt aus dem Einband der russischen Ausgabe (Kopff 1933a)

*Besonderheiten:*

Von der ursprünglichen russischen Übersetzung ist 2010 beim Verlag Librokom in Moskau ein Wiederabdruck erschienen (ISBN 978-5-397-01182-2).

*Kommentar:*

Die russische Übersetzung ist in dem von Gondolatsch (1962) publizierten Schriftenverzeichnis von Kopff nicht enthalten<sup>33</sup>. Da Gondolatsch seit 1927 ein enger Mitarbeiter von Kopff war, ist zu vermuten, daß auch Kopff nichts von der Existenz einer russischen Übersetzung seines Buches wußte. Die Unkenntnis über eine russische Übersetzung könnte sich daraus erklären, daß die Sowjetunion in dieser Zeit sich bei Übersetzungen nicht an das Urheberrecht des Autors und des ursprünglichen Verlags gebunden fühlte. Daher wurden vermutlich weder Kopff noch der Verlag Hirzel um eine Lizenz für die Übersetzung gebeten.

Die russische Übersetzung des Buches von Kopff lag uns leider nicht vor. Sie ist mit höchster Wahrscheinlichkeit in keiner deutschen oder westeuropäischen Bibliothek vorhanden; jedenfalls ist sie in keinem der zugänglichen online-Kataloge nachgewiesen.

---

<sup>33</sup>Die russische Übersetzung ist auch nicht in der vom Astronomischen Rechen-Institut herausgegebenen Bibliographie „Astronomischer Jahresbericht“ nachgewiesen. Das gilt allerdings auch für die englische und die italienische Übersetzung.

#### 4.4.6 Eine japanische Ausgabe?

In einem Gespräch mit einem der Autoren (R.W.) erwähnte Herr Prof. Dr. Friedrich Gondolatsch (1904-2003. Nekrolog: Wielen 2004), daß im Astronomischen Rechen-Institut in Berlin davon die Rede war, es gäbe auch eine japanische Übersetzung von Kopffs Buch.

Die Möglichkeit einer japanischen Übersetzung erschien uns deswegen erwägenswert, weil Einstein Japan Ende 1922 längere Zeit besucht hatte. Einstein hielt in Japan viele Vorträge. Noch während dieser Reise wurde ihm im November 1922 der Nobelpreis für Physik verliehen. Dadurch könnte in Japan der Wunsch nach Büchern über die Einsteinsche Relativitätstheorie verstärkt worden sein. Eine der Möglichkeiten für ein solches Buch wäre eine japanische Übersetzung des Werkes von Kopff von 1921 oder 1923 gewesen.

Uns ist es aber nicht gelungen, eine japanische Übersetzung von Kopffs Buch zu ermitteln. Auch die Leiterin der Bibliothek des Instituts für Japanologie der Universität Heidelberg, Frau Chihiro Kodama-Lambert B.A., hat bei ihren freundlicherweise durchgeführten Recherchen keinen Nachweis für eine japanische Ausgabe des Buches gefunden. Allerdings sind eventuell einige japanische Bücher aus der entsprechenden Zeit noch nicht für die digitalen Bibliothekskataloge erfaßt worden. Zusammenfassend kann man sagen, daß die Existenz einer japanischen Übersetzung des Kopffschen Buches eher unwahrscheinlich ist.

Es könnte sein, daß zwar keine Übersetzung im eigentlichen Sinne erschienen ist, daß es aber die japanische Wiedergabe einer Vorlesung, die auf Kopffs Buch beruhte, gab. Denn in seinem Brief<sup>34</sup> vom 10. Oktober 1921 an Einstein schrieb der japanische Physiker Keiichi Aichi<sup>35</sup>: „Ich lese über Relativität (nach Kopffs Grundzüge) in die Universität.“. Vielleicht wurde das handschriftliche japanische Vorlesungsmanuskript des Dozenten oder eine Mitschrift eines Studenten mit dem Hinweis, daß Kopffs Buch die Quelle sei, später in Japan weiter verbreitet.

Eventuell handelte es sich bei dem Gerücht über eine japanische Übersetzung von Kopffs Buch um eine Verwechslung mit der russischen Übersetzung (siehe Kapitel 4.4.5). Vielleicht war im Berliner Institut die Existenz einer

---

<sup>34</sup>Wiedergegeben in „The Collected Papers of Albert Einstein“ (siehe Einstein 1987ff im Literaturverzeichnis), Vol. 12 (2009), Nr. 262, S. 308

<sup>35</sup>Keiichi Aichi (1880-1923) war Professor für Physik an der Kaiserlichen Tohoku Universität in Sendai (Japan). Er hatte von 1908 bis 1912 in Deutschland studiert. In seinem Brief dankt er Einstein für die Gastfreundschaft in dessen Haus. Er hatte Einstein demnach vermutlich um 1921 in Berlin besucht.

weiteren Übersetzung zwar vom Hörensagen her bekannt geworden, ohne daß dabei etwas Näheres über deren Sprache oder den Erscheinungsort übermittelt wurde.

Übersetzungen von Kopffs Buch ins Französische, Spanische oder in andere Sprachen (außer den oben besprochenen) sind uns nicht bekannt.

#### 4.4.7 Besprechungen der Bücher Kopffs

Es ist schwierig, eine Übersicht über die in vielen Zeitschriften erschienenen Besprechungen der Bücher von Kopff zur Relativitätstheorie zu erhalten. Unsere Aufstellung der Buchbesprechungen ist daher sicher nicht vollständig. Auch konnten wir nicht alle Besprechungen einsehen.

Zwei Buchbesprechungen waren in Kopffs Privatexemplar der 2. Auflage eingelegt (siehe Kapitel 4.4.2). Nachweise für zusätzliche Buchbesprechungen aus dem deutschen Raum fanden wir in der „Bibliographie der Rezensionen“ von F. Dietrich und R. Dietrich, die den Zeitraum von 1911 bis 1943 umfaßt. Einige ausländische Buchbesprechungen haben wir über das Internet gefunden.

(1a) Besprechung der 1. Auflage in der Zeitschrift  
„Die Naturwissenschaften“, Band 9 (1921), S. 777

Autor ist Hans Thirring (siehe Kapitel 8.3.2) Er war Theoretischer Physiker an der Universität Wien und arbeitete selbst auf dem Gebiet der Allgemeinen Relativitätstheorie. Die Besprechung ist ca. eine halbe Seite lang und sehr positiv. Einleitend wird das Buch begrüßt: „Das Buch kommt dem zweifellos vorhandenen starken Bedürfnis nach einer leichtverständlichen Einführung in die Relativitätstheorie entgegen. Gerade die besten Werke auf diesem Gebiete (Weyl, Laue) sind für manche Physiker schlechterdings unverständlich; ...“. Nur §11, in dem Kopff die Zusammenhänge der Allgemeinen Relativitätstheorie mit der Riemannschen Geometrie erörtert, findet Thirring verbesserungsfähig (In der Tat hat Kopff diesen Paragraphen in der 2. Auflage vollständig umgearbeitet; siehe sein Vorwort zur 2. Auflage.) Thirring endet: „Im großen und ganzen stellt das Kopffsche Buch ein ausgezeichnet gelungenes Werk dar, das man jedem Studenten und Fachphysiker als erste Einführung in die Relativitätstheorie wärmstens anempfehlen kann.“. Siehe auch unser Kapitel 8.3.2: In dem dort wiedergegebenen Brief von Thirring an Kopff vom 7. Juli 1922 schreibt Thirring, daß er das Kopffsche Buch „mit großem Erfolg“ in seiner Vorlesung verwende.

(1b) Besprechung der 1. Auflage in der Zeitschrift „Literarisches Beiblatt  
zu den Astronomischen Nachrichten“, 5. Heft (1917-1924), Nr. 53, S. 136

Diese Besprechung erschien 1922. Autor ist der Herausgeber der Zeitschrift „Astronomische Nachrichten“, Hermann Kobold (1858-1942). Er lobt das Buch, weil es großes Gewicht auf eine möglichst sichere Grundlage für den mathematischen Aufbau der Relativitätstheorie legt. „Für den Astronomen wird als besonders wertvoll die ausführliche Darstellung und strenge Begründung der Einsteinschen Gravitationstheorie ... zu betrachten sein.“. Kopffs Werk erleich-

tere „in hohem Grade ein Vordringen bis zu den Schätzen, die in den Gedankengängen der Relativitätstheorie ruhen“.

(1c) Besprechung der 1. Auflage im „Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik“, Band 17 (1920/1921), S. 436

Autor ist Rudolf Seeliger (1886-1965). Er war Physiker und hatte 1910 bei Arnold Sommerfeld in München promoviert. Sein Vater war der bekannte Astronom Hugo von Seeliger (1849-1924). Seeliger lobt vor allem den zweiten Teil des Buches, der sich mit der Allgemeinen Relativitätstheorie befaßt, als „eine schöne und klare Darstellung nicht nur der Grundlagen, sondern auch aller Anwendungen der allgemeinen Relativitätstheorie“, und der „sich in erfreulicher Weise durch Objektivität auszeichnet“. Es sei lehrreich zu lesen, wie „ein Astronom in gerechter und sachlicher Weise die auf dem Gebiet seines Faches liegenden Beweise für die Richtigkeit der Theorie bewertet.“.

(1d) Besprechung der 1. Auflage in der Zeitschrift „Literarisches Zentralblatt für Deutschland“, Band 72 (1921), S. 352

Die Besprechung des Buches von Kopff ist als Nummer 3 Teil einer gemeinsamen Besprechung von 11 Schriften zur Relativitätstheorie (siehe auch Kapitel 4.7.1). Autor der Besprechung von Kopffs Werk ist der Mineraloge und Physiker Alfred Wenzel (1892-?), der im Schuldienst in Brandenburg an der Havel tätig war. Das Buch von Kopff wende sich an „Fachleute oder Jünger der Naturwissenschaften“. Es gäbe eine einfachere Einführung in die Theorie als das vom Rezensenten ebenfalls sehr gelobte Buch von M. von Laue (1921a). In Kopffs Buch „werden alle Beziehungen klar entwickelt, wobei die Ausführlichkeit die Verständlichkeit des ganzen Inhalts wesentlich fördert“.

(1e) Besprechung der 1. Auflage in der „Zeitschrift für den Physikalischen und Chemischen Unterricht“, 34. Jahrgang (1921), S. 235

Autor ist Ewald Sellien (1893-?). Er hatte 1919 an der Universität Kiel mit einer Arbeit über „Die erkenntnistheoretische Bedeutung der Relativitätstheorie“ promoviert und arbeitete später als Oberstudienrat im Schuldienst in Potsdam und Berlin. Er bespricht das Buch von Kopff ausführlich und empfiehlt es jedem, der sich in die Relativitätstheorie einarbeiten wolle. Das Buch bringe den vollständigen mathematischen Apparat der Theorie, „aber die Formeln und Lehrsätze werden abgeleitet, so daß jeder mit der höheren Mathematik der ersten Semester Vertraute sich sehr wohl durcharbeiten kann.“. Dagegen würde das Buch von Weyl (*Weyl 1918*) „manchen recht schwer erscheinen.“.

(1f) Besprechung der 1. Auflage in der Zeitschrift „Aus der Natur. Zeitschrift für den naturwissenschaftlichen und erdkundlichen Unterricht.“, Band 18 (1921), S. 359

Autor ist der Theoretische Physiker Paul Volkmann (1856-1938) aus Königsberg. Einleitend schreibt er, die universelle Bedeutung der Relativitätstheorie werde besonders dadurch hervorgehoben, daß nun auch der Astronom Kopff eine ausführliche Behandlung des Gegenstandes vorlegt, nachdem es innerhalb ihrer Interessensphären bereits die Physiker von Laue und Born und der Mathematiker Weyl getan haben. Volkmann schließt dann eine sehr ausführliche Wiedergabe des Inhalts von Kopffs Buch an.

(1g) Hinweis auf die 1. Auflage in der Zeitschrift „The American Mathematical Monthly“, Vol. 28 (1921), S. 456

In der Rubrik „Recent Publications“ wird eine Beschreibung des Buches von Kopff gegeben. Es handelt sich nicht um eine kritische Besprechung. Um die Zielsetzung des Buches zu verdeutlichen, werden Teile des Kopffschen Vorworts referiert.

(2a) Besprechung der 2. Auflage in der Zeitschrift „Die Naturwissenschaften“, Band 11 (1923), S. 231

Autor ist der Physiker Max von Laue (1879-1960). Der Träger des Nobelpreises für 1914 hatte selbst Bücher und andere Arbeiten zur Relativitätstheorie verfaßt (siehe u.a. unser Literaturverzeichnis unter „Laue, Max von“). Seine Besprechung ist kurz, aber positiv: „sehr lesbare und dabei gründliche Schrift“. Wir geben den vollen Text der Rezension in unserem Kapitel 8.3.4 wieder.

(2b) Besprechung der 2. Auflage in der „Beilage zu Nr. 5280 der Astronomischen Nachrichten“, Literarische Anzeigen, (1924), 3. Spalte

In der Bibliothek des Astronomischen Rechen-Instituts ist die Beilage zu Nr. 5280 der Zeitschrift „Astronomischen Nachrichten“ (AN) direkt hinter der Nr. 5280, d.h. hinter der letzten Seite 400 des Bandes 220 (1923/1924) der AN, eingebunden. Die Spalten der Beilage weisen keine Zählung auf.

Autor ist der Herausgeber der Zeitschrift „Astronomische Nachrichten“, Hermann Kobold (1858-1942). Er bekräftigt seine positiven Ausführungen zur 1. Auflage (siehe Punkt (1b) oben): Die Kopffsche Einführung in die Relativitätstheorie lege großes Gewicht auf den gründlichen mathematischen Aufbau der Theorie in durchsichtiger, den Anfänger nirgends im Stich lassender Vollständigkeit. In der 2. Auflage sei im Wesentlichen nur das Kapitel zur Riemannschen Geometrie umgearbeitet worden.

(2c) Besprechung der 2. Auflage in der „Zeitschrift für den Physikalischen und Chemischen Unterricht“, 36. Jahrgang (1923), S. 135

Der Autor hat nur mit „S.“ signiert. Es ist aber mit Sicherheit Ewald Sellien, der auch die Rezension der 1. Auflage in dieser Zeitschrift veröffentlicht hat (siehe obige Besprechung (1c)). Die Besprechung ist sehr kurz und verweist hauptsächlich auf die Besprechung der 1. Auflage. Dem Buch werden neue Freunde gewünscht.

(3a) Besprechung der englischen Übersetzung im „Bulletin of the American Mathematical Society“, Vol. 30 (1924), S. 278

Autor ist der amerikanische Mathematiker Clarence N. Reynolds (1890-1954). Auf dem Gebiet der Relativitätstheorie ist er dadurch hervorgetreten, daß er sich einen von ihm erfundenen Rechenschieber zur relativistischen Addition von Geschwindigkeiten patentieren ließ („A Slide Rule Representation of Einstein's Restricted Theory of Relativity“). Reynolds bespricht das Buch von Kopff zusammen mit einem Buch von J. Rice über die Relativitätstheorie. Der Abschnitt über Kopffs Buch umfaßt nur 7 Zeilen und ist indifferent. Reynolds bemängelt vor allem die Fülle von Fußnoten, die sich auf deutsche Literatur-Quellen beziehen. Er übersieht dabei wohl, daß damals die Literatur zur Relativitätstheorie ganz überwiegend aus dem deutschsprachigen Raum stammte. Er endet: „For those to whom this work would be of value, the German edition would be a less expansive volume of equal value“. Wir fügen hinzu, daß deutschsprachige Leser dann natürlich auch gleich die 1923 erschienene 2. Auflage hätten kaufen können, die Reynolds offenbar noch nicht kannte.

(3b) Besprechung der englischen Übersetzung in der Zeitschrift „The Mathematical Gazette“, Vol. 11 (1923), S. 393

Autor ist der englische Mathematiker Henry T. H. Piaggio (1884-1967). Die Rezension ist recht kurz und indifferent. Zwar lobt er besonders die Einleitung und die Darlegung des Äquivalenzprinzips. Andere Punkte werden aber kritisiert. So sei die Behandlung der Tensorrechnung an Weyls Buch angelehnt und nicht so gut wie in Eddingtons Werk.

(3c) Besprechung der englischen Übersetzung in der Zeitschrift „Science Progress“, Vol. 18 (1924), S. 647

Die Besprechung ist signiert mit „S.B.“. Der Rezensent war wahrscheinlich der in England tätige Mathematiker Selig Brodetsky (1888-1954).

(4) Besprechung der italienischen Übersetzung in der Zeitschrift  
„Archivio di storia della scienza“, Vol. 4 (1923), S. 287

Rezensent war Enrico Rufini (1890-1924). Er war Mathematiker und Lehrer am Liceo Torquato Tasso in Rom. Er lobt das Werk sehr: „Questo trattato del Kopff è un libro veramente eccellente“.

(5) Indirekte Besprechungen (Empfehlungen)

Andere Autoren haben in ihren Werken zur Relativitätstheorie das Buch von Kopff bei den Literaturangaben positiv kommentiert. So führt z. B. der Physiker und Philosoph Moritz Schlick (1882-1936) in seinem Werk (Schlick 1922, Literaturhinweise auf S. 107) aus: „Zur Einführung [*in die Relativitätstheorie*] ist wegen seiner Beschränkung auf das Wesentlichste und wegen der Klarheit der mathematischen Darstellung wohl am besten geeignet das Buch von A. Kopff: Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie, Leipzig 1921.“.

Am eindrucksvollsten unter den brieflichen Empfehlungen für Kopffs Buch ist für uns der in Kapitel 5 erwähnte Brief Einsteins vom 5. Januar 1934 an den Amerikaner Nathan Leopold. In diesem Brief empfiehlt Einstein ihm u.a. die englische Fassung des Kopffschen Buches zum Selbststudium der Relativitätstheorie.

#### 4.4.8 Konkurrierende Werke

Als 1921 die erste Auflage von Kopffs Buch erschien, gab es bereits eine Fülle anderer Bücher zur Relativitätstheorie. Mit diesen mußte Kopffs Werk konkurrieren.

Die Mehrzahl der Buchveröffentlichungen war populärwissenschaftlicher Natur. Sie zielten meist darauf ab, einem allgemein, aber nicht fachlich vorgebildeten Leserkreis die Grundideen der Relativitätstheorie zu vermitteln und dabei weitgehend ohne mathematische Formeln auszukommen. Die Broschüre von Kopff (1920a) gehört in den Kreis dieser Publikationen. Kopffs Buch (1921a, 1923a) konkurrierte aufgrund seiner intensiven Benutzung höherer Mathematik nicht mit dem Leserkreis der meisten populärwissenschaftlichen Werke.

Ausnahmen bildeten vermutlich die allgemein-verständlich angelegten Werke von Einstein (seit 1917), Born (seit 1920) und Freundlich (seit 1916). Das Buch von Einstein hatte natürlich den besonderen Reiz, daß es vom Begründer der Relativitätstheorie selbst stammte. Die Bücher von Born und Freundlich waren vom Niveau her deutlich anspruchsvoller als die meisten der anderen populärwissenschaftlichen Werke und kamen daher in diesem Sinne in die Nähe von Kopffs Buch.

Hauptsächlich stand Kopffs Buch aber mit den Fachbüchern der Relativitätstheorie in Konkurrenz. Das führende Werk dieser Art stammte von Max von Laue. Der Band zur Speziellen Relativitätstheorie war bereits erstmals 1911 erschienen und hat bis 1921 drei weitere Auflagen erlebt. Der zweite Band zur Allgemeinen Relativitätstheorie erschien 1921 und in 2. Auflage 1923. Gegenüber Kopff (und den anderen Autoren der Fachbücher) hatte Max von Laue den Vorteil, daß er durch seine mit dem Physik-Nobelpreis für 1914 ausgezeichneten Arbeiten (Entdeckung der Beugung von Röntgenstrahlen beim Durchgang durch Kristalle) bereits weltweit berühmt war.

Das Fachbuch von Weyl ist erstmals 1918 erschienen. Bis 1923 erfolgten vier weitere Auflagen. Es beruht auf Vorlesungen über Allgemeine Relativitätstheorie, die Weyl im Sommersemester 1917 an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich gehalten hatte. Weyl beteiligte sich auch selbst am Ausbau der Allgemeinen Relativitätstheorie.

Pauli hatte 1920 auf Anregung seines Lehrers Arnold Sommerfeld einen Handbuchartikel für die Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften (Band 5, Teil 2, S. 539) verfaßt. Dieser Artikel erschien 1921 als separates Buch. Der Artikel ist beeindruckend, vor allem, wenn man bedenkt, daß Pauli bei der Abfassung erst 20 Jahre alt war. Als Handbuchartikel ist er sehr umfassend, aber dadurch natürlich auch stärker komprimiert.

Der Mathematiker E. R. Neumann veröffentlichte 1922 eine Einführung in die Relativitätstheorie, die auf Vorlesungen beruhte, die er an der Universität Marburg gehalten hatte. Das Werk wurde besonders für seine didaktischen Qualitäten gelobt.

Eddington hatte 1920 ein Buch über die Relativitätstheorie veröffentlicht, das sich hauptsächlich an „Leser ohne fachwissenschaftliche Vorkenntnisse“ wandte, wie es in der deutschen Übersetzung aus dem Jahre 1923 heißt. In England erschien von Eddington dann ein mathematisch geprägtes Fachbuch zur Relativitätstheorie (Eddington 1923b). Die deutsche Übersetzung wurde 1925 unter Verwendung der zweiten englischen Auflage von 1924 publiziert. Einstein selbst veröffentlichte in dieser deutschen Fassung einen eigenen Beitrag. Das brachte dem Buch sicher zusätzliches Prestige, da es durch diesen Anhang vom Begründer der Relativitätstheorie besonders herausgehoben wurde. Eddington hatte sich in England vehement und vielfältig für die Anerkennung der Einsteinschen Relativitätstheorie eingesetzt und bemühte sich auch selbst um einen weiteren Ausbau der Allgemeinen Relativitätstheorie. Eddingtons Buch war mindestens ab 1925 eine sehr gewichtige Konkurrenz zu Kopffs Werk. Allerdings war das Buch von Eddington für damalige Verhältnisse ausgesprochen teuer (je nach Ausstattung zwischen 18,00 und 19,50 der neuen Rentenmark), was manche potentiellen Käufer sicher abschreckte.

Gegenüber den Fachbüchern von Max von Laue, Weyl, Pauli und Eddington konnte Kopffs Buch wohl vor allem dadurch Leser anziehen, daß sein Niveau und sein inhaltlicher Umfang auf Studenten der Physik und Mathematik sowie Absolventen dieser Fächer abgestimmt war, die an einer mathematisch fundierten, aber doch etwas leichter lesbaren Einführung in die Relativitätstheorie interessiert waren. Da Kopffs Buch aus Vorlesungen heraus entstanden war, eignete es sich offenbar auch gut als Grundlage oder zumindest als Begleitbuch zu Vorlesungen über Relativitätstheorie an Universitäten.

Im englisch-sprachigen Raum hatte die Übersetzung (1923b) von Kopffs Buch sicher einen schweren Stand gegenüber Eddingtons Fachbuch von 1923 und dessen zweiter Auflage von 1924, zumal als Grundlage der Übersetzung nur die erste Auflage der deutschen Fassung (Kopff 1921a) gedient hatte.

Über den Erfolg der italienischen Übersetzung von Kopffs Buch haben wir keine Informationen. Man kann sich aber vorstellen, daß besonders die sehr umfangreichen Ergänzungen durch italienische Autoren das Werk für italienische Leser attraktiv machten.

#### 4.4.9 Warum gab es keine weitere Auflage des Buches ?

Die 2. Auflage von 1923 war die letzte Auflage des Buches von Kopff. Warum gab es keine weiteren Auflagen mehr ?

Kopff selbst erwartete zunächst offenbar eine 3. Auflage seines Buches. Denn in seinem Privatexemplar der 2. Auflage befinden sich zahlreiche handschriftliche Korrekturen und Notizen von ihm, die nur für eine Neuauflage sinnvoll sein konnten. Zum Beispiel hat er die Titel von § 1 und § 2 verändert. So sollte die Überschrift von § 1 von „Das Galileische Relativitätsprinzip. ...“ zu „Die klassische Mechanik und das Galileische Relativitätsprinzip. ...“ erweitert werden. Auch Hinweise auf von ihm geplante Umstellungen innerhalb des Textes konnten nur für eine Neuauflage bestimmt sein.

Später scheint Kopff aber nicht mehr mit einer Neuauflage gerechnet zu haben, denn alle Notizen von ihm, die man aufgrund ihres Inhalts bzw. der Quelle zeitlich zuordnen kann, beziehen sich auf Veröffentlichungen bis höchstens 1923 (z.B. Eddington (1923b) und von Laues Buchbesprechung von 1923).

Kopff nahm 1924 den Ruf nach Berlin an und wurde dort am 26. Juli 1924 zum Ordinarius für Theoretische Astronomie der Universität und zugleich zum Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts ernannt. Man könnte daher annehmen, daß Kopff ab Mitte 1924 die Zeit fehlte, Neuauflagen vorzubereiten. Das ist einerseits plausibel, weil die Arbeitsbelastung von Kopff dadurch stark anstieg. Andererseits hätte sich Kopffs Aufwand für eine nur geringfügig verbesserte und ergänzte 3. Auflage doch in engen Grenzen gehalten. Hinzu kommt, daß Kopff um 1924 die Herausgabe und die Abfassung zweier größerer Kapitel (Kap. 9: Das Sternsystem; letztes Kap. (ohne Nr.): Relativitätstheorie) des Bands 5 (Teil 2) eines Lehrbuchs der Physik übernahm (siehe Kapitel 4.6), das aber erst 1928 erschien. Die Arbeit an diesem Band war für Kopff sicher zeitaufwendiger als für eine 3. Auflage seines Buches.

Wir gehen davon aus, daß eher wirtschaftliche Gründe den Verlag von einer 3. Auflage abhielten. Die allgemeine Euphorie von 1919 über Einsteins Relativitätstheorie war abgeklungen, was sich wohl zum Teil auch auf den Absatz wissenschaftlicher Bücher zur Relativitätstheorie auswirkte.

Dazu kam, daß es keine derartig wichtigen sachlichen Ergänzungen der Relativitätstheorie gab, die eine Neuauflage dringend geboten hätten. Die wichtigen Arbeiten zu nichtstationären Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen von Friedmann (1922, 1924) und Lemaître (1927) wurden erst voll gewürdigt, nachdem Hubble 1929 mit seinen Arbeiten zur Beziehung zwischen Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien die Expansion des Universums empirisch gut gesichert hatte. Die entsprechenden Darstellungen erschienen dann aber meist in speziellen Büchern zur Kosmologie.

Das Ausbleiben von Neuauflagen ab 1923 betraf nicht nur Kopffs Buch, sondern auch die meisten anderen Fachbücher zur Relativitätstheorie<sup>36</sup>. Max von Laues zweibändiges Werk erschien letztmals 1923 und dann erst wieder 1952. Weyls Buch wurde 1923 in 5. Auflage und dann 1970 als unveränderte 6. Auflage veröffentlicht. Paulis Enzyklopädie-Artikel erschien als Sonderausgabe 1921; eine ergänzte Neuausgabe auf Englisch erfolgte 1958. Borns Werk erschien zuletzt 1922 in 3. Auflage und dann erst wieder 1964 in 4. Auflage. Thirrings Buch erschien in 2. Auflage 1922 und in 3. Auflage 1948. Freundlichs Werk wurde letztmals 1920 in 4. Auflage publiziert. Neumanns Lehrbuch erschien nur in der Auflage von 1922. Die Zusammenstellung grundlegender Arbeiten (Lorentz u.a. 1922) durch Sommerfeld erschien 1923 in 5. Auflage und 1958 in 6. Auflage. Auch Einsteins „gemeinverständliches“ Buch (1917b) über die Relativitätstheorie erschien 1922 letztmals und dann erst wieder 1954. Eine Ausnahme hinsichtlich des Erscheinungsjahrs bildete die deutsche Fassung von Eddingtons Buch, die erst 1925 publiziert wurde. Das englische Original war aber auch bereits 1923 erschienen.

Obwohl Einstein und die Relativitätstheorie oft heftig attackiert wurden, hätten diese Angriffe das Erscheinen von Fachbüchern zur Relativitätstheorie in den Jahren von 1924 bis 1932 nicht verhindern können. Eddingtons Buch von 1925, Kopffs Lehrbuchartikel von 1928 und Becks Handbuchartikel von 1929 sind dafür Beispiele. Von 1933 bis 1945 waren dann allerdings Bücher mit positiven Darstellungen der Relativitätstheorie aus politischen Gründen unerwünscht. Das 1942 erschienene Buch von Heckmann über Theorien der Kosmologie, in dem die Allgemeine Relativitätstheorie breiten Raum einnimmt, stellt insofern eine Ausnahme dar.

---

<sup>36</sup>Wir beziehen uns hier nur auf deutsche Ausgaben. Übersetzungen in fremde Sprachen sind teilweise noch später erschienen.

## 4.5 Kopffs Teilnahme an der Sonnenfinsternis-Expedition 1922 zur Weihnachtsinsel

### 4.5.1 Einsteins Vorhersage der Lichtablenkung und frühere Sonnenfinsternis-Expeditionen

Im Jahre 1911 hatte Einstein eine Arbeit veröffentlicht, in der er die Lichtablenkung im Schwerfeld von Massen, z.B. der Sonne, als einen Test der Relativitätstheorie vorschlug (Einstein 1911). Er sagte dafür unter Benutzung des Äquivalenzprinzips einen Wert von 0,87 Bogensekunden am Sonnenrand voraus<sup>37</sup> und wies darauf hin, daß der Effekt bei einer totalen Sonnenfinsternis aufgrund der Verschiebungen von Örtern von Sternen beobachtbar sein sollte. Eine solche Lichtablenkung hatte bereits 1801 Soldner<sup>38</sup> mit Hilfe einer „himmelsmechanischen“ Theorie, d.h. der Anwendung des Newtonschen Gravitationsgesetzes auf Lichtteilchen, vorhergesagt. Im Rahmen der 1915 veröffentlichten Allgemeinen Relativitätstheorie sagte Einstein dann einen doppelt so großen Wert, nämlich 1,75 Bogensekunden, voraus. Der Unterschied zwischen Einsteins altem und neuem Wert beruht darauf, daß die Allgemeine Relativitätstheorie zusätzlich zum Äquivalenzprinzip die Krümmung des Raumes durch die Masse der Sonne berücksichtigt.

Als erster hat sich Erwin Freundlich (siehe Kapitel 4.2) der empirischen Bestimmung der relativistischen Lichtablenkung an der Sonne angenommen. Er folgte damit „einer persönlichen Aufforderung des Herrn Einstein“ (Freundlich 1913). Freundlich bat den Astronomen Perrine<sup>39</sup>, der damals Direktor der Sternwarte Cordoba (Argentinien) war und der im Oktober 1911 Berlin besuchte, spezielle Aufnahmen während der Sonnenfinsternis am 10. Oktober 1912 zu machen. Perrine führte daraufhin eine Expedition nach Christina (Minas Gerais, Brasilien) durch, aber Regen verhinderte die entsprechenden Beobachtungen. Freundlich versuchte auch, die Lichtablenkung auf älteren Aufnahmen von Sonnenfinsternissen nachzuweisen. Dies gelang ihm aber nicht, weil die Aufnahmen für diesen Zweck nicht geeignet waren. Die früheren Sonnenfinsternis-Expeditionen hatten sich meist auf die Untersuchung der Sonnenkorona und von Protuberanzen konzentriert, einige auch auf die Suche nach eventu-

---

<sup>37</sup>Der hier genannte Wert von 0,87 Bogensekunden ergibt sich aus den heutigen Zahlenwerten. Einstein gibt in seiner Arbeit von 1911 als Zahlenwert nur 0,83 Bogensekunden an (vermutlich vor allem aufgrund der Abrundung eines Zwischenergebnisses, nämlich der Ablenkung im Bogenmaß).

<sup>38</sup>Johann Georg (von) Soldner (1776-1833): „Ueber die Ablenkung eines Lichtstrals von seiner geradlinigen Bewegung, durch die Attraktion eines Weltkörpers, an welchem er nahe vorbei geht.“. In: [Berliner] Astronomisches Jahrbuch für das Jahr 1804. 29. Jahrgang. Herausgeber: J. E. Bode, Berlin, 1801, S. 161. Soldners Vorhersage war formelmäßig identisch mit der Einsteins von 1911, aber aufgrund anderer benutzter Zahlenwerte zahlenmäßig 0,84 Bogensekunden. Zu Druck- und angeblichen anderen Fehlern bei Soldner siehe z.B. Treder und Jackisch (1981).

<sup>39</sup>Charles Dillon Perrine (1867-1951)

ellen Planeten innerhalb der Merkurbahn, aber sie hatten nicht die Messung von Sternen in der Sonnenumgebung auf ihrem Programm.

Im Jahr 1914 leitete Freundlich dann mit Unterstützung von Einstein, Planck und privaten Sponsoren eine Expedition der Berliner Sternwarte zur Beobachtung der Sonnenfinsternis vom 21. August 1914. Er wählte als Beobachtungsort Feodosija auf der Krim in Rußland. Als aber Anfang August 1914 der Erste Weltkrieg ausbrach, wurden er und seine deutschen Begleiter als feindliche Ausländer interniert. Die Expedition wäre aber auch aufgrund des schlechten Wetters am Tag der Sonnenfinsternis ergebnislos geblieben. Dadurch konnten auch die meisten anderen Expeditionen auf der Krim keine Resultate erzielen.

Freundlich hätte 1914 vielleicht mehr Glück gehabt, wenn er sich der Expedition der Sternwarte der Technischen Hochschule Berlin angeschlossen hätte (Miethe et al. 1916). Leiter dieser Expedition war der Lehrstuhlinhaber für Photographische Chemie, Miethe<sup>40</sup>. Er hatte Sandnessjøen auf der Insel Alsten in Norwegen als Beobachtungsort gewählt. Durch den Ausbruch des Ersten Weltkriegs wurde auch diese Expedition zum Teil behindert, obwohl Norwegen neutral war. Es gelangte nämlich ein Teil der Instrumente nicht mehr von Deutschland nach Norwegen. Dafür war aber das Wetter am Tag der Sonnenfinsternis sehr gut, und so gelangen Miethe und seinen Mitarbeitern hervorragende Aufnahmen der Sonnenkorona und andere Beobachtungen. Miethe versuchte aber nicht, die relativistische Lichtablenkung zu messen. Dagegen hätte Freundlich mit seinem Beobachtungsprogramm zur Lichtablenkung hier in Norwegen durchaus Erfolg haben können, falls seine Instrumente rechtzeitig vor Kriegsausbruch in Norwegen eingetroffen wären.

In gewissem Sinne war das Scheitern der Sonnenfinsternis-Expeditionen im Jahre 1914 hinsichtlich der Messung der Lichtablenkung aber ein Glücksfall für die Reputation von Einstein. Denn noch war seine Vorhersage zwar qualitativ richtig, aber quantitativ falsch (0,87 statt richtig 1,75 Bogensekunden am Sonnenrand). Die empirische Bestätigung kam erst 1919 (siehe unten), nachdem Einstein 1915 seine Vorhersage im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie auf 1,75 Bogensekunden erhöht hatte. Die korrekte Vorhersage förderte Einsteins Ruhm sicher stärker als eine nachträglich verbesserte Deutung.

Der Erste Weltkrieg (August 1914 bis November 1918) behinderte dann zunächst weitere Bemühungen, die Lichtablenkung nachzuweisen. Erst 1919 sandte England zwei Expeditionen zur Beobachtung der Sonnenfinsternis vom 29. Mai 1919 aus, die speziell die Aufgabe hatten, die Lichtablenkung zu messen. Beobachtungsorte waren Sobral in Brasilien und die Insel Principe vor der Westküste Afrikas (damals eine portugiesische Kolonie). Beide Expeditionen waren erfolgreich. Die Messungen ergaben (Dyson et al. 1920) für den Wert der

---

<sup>40</sup>Adolf Miethe (1862-1927). Zu Miethe siehe insbesondere Seibt (2012).

Lichtablenkung am Sonnenrand in Sobral den Wert 1,98 Bogensekunden (mit einem wahrscheinlichen Fehler von  $\pm 0,12$  Bogensekunden), und in Principe 1,61 Bogensekunden (wahrscheinlicher Fehler  $\pm 0,30$  Bogensekunden)<sup>41</sup>. Damit war die Vorhersage Einsteins (1,75 Bogensekunden) im Rahmen der Meßfehler bestätigt. Der Astronomer Royal, Frank Dyson (1868-1939), verkündete dieses Resultat am 6. November 1919 feierlich im Rahmen einer gemeinsamen Sitzung der englischen Royal Society und der Royal Astronomical Society im Burlington House in London. Von da ab waren Einstein und seine Allgemeine Relativitätstheorie weltberühmt.

#### 4.5.2 Vorbereitungen für die Sonnenfinsternis-Expedition zur Weihnachtsinsel

Obwohl die englischen Sonnenfinsternis-Expeditionen des Jahres 1919 durchaus erfolgreich verlaufen waren und sie die von der Allgemeinen Relativitätstheorie vorausgesagte Lichtablenkung an der Sonne bestätigt hatten, bestand angesichts der relativ großen Meßfehler der Wunsch, in Zukunft genauere und sicherere Resultate zu gewinnen. Auch Deutschland wollte dazu einen wichtigen Beitrag leisten. Denn Einstein stammte ja aus Deutschland und arbeitete seit 1914 in Berlin. Andererseits setzte die starke Inflation den deutschen Astronomen für solche Unternehmungen enge Grenzen. Es war daher ein Glücksfall, daß sich Holland an einer Sonnenfinsternis-Expedition beteiligen wollte. Ein Grund für das holländische Engagement war, daß auf Java (damals zu Holländisch-Indien gehörig) eine neue Sternwarte errichtet werden sollte<sup>42</sup> und man eine für diese Sternwarte bestimmte Astrographen-Montierung für eine Sonnenfinsternis-Expedition in der Nähe von Java zur Verfügung stellen konnte.

Man bereitete daher eine Sonnenfinsternis-Expedition im Rahmen der Astronomischen Gesellschaft (AG) vor. Die AG war eine internationale Vereinigung von Astronomen, hatte aber ihren Schwerpunkt in Deutschland.

Offiziell wurde die Expedition von Einstein und sieben weiteren Astronomen (Eddington, Freundlich, Guthnick, Kapteyn, Kohlschütter, Ludendorff, Strömgen) auf der Tagung der Astronomischen Gesellschaft im August 1921 in Potsdam angeregt<sup>43</sup>. Ziel des Antrags ist eine „kombinierte Deutsch-Holländische Expedition“ zur Sonnenfinsternis vom 21. September 1922<sup>44</sup>. Als Beobachtungsplatz wird eine Insel im Indischen Archipel (d.h. südlich von Indonesien, dem damaligen Holländisch-Indien) vorgeschlagen. Das Astrophysikalische

---

<sup>41</sup>Die entsprechenden mittleren Fehler betragen  $\pm 0,18$  bzw.  $\pm 0,44$  Bogensekunden

<sup>42</sup>Das spätere Bosscha Observatorium. Zu dessen Beschreibung siehe Text weiter unten.

<sup>43</sup>Der Antrag ist abgedruckt in der Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft, 56. Jahrgang (1921), S. 160-161

<sup>44</sup>Im Antrag steht versehentlich der 22. September als Datum

Observatorium in Potsdam habe aus Zeitgründen bereits einen Antrag an die Regierung gestellt. Der Vorstand der AG „steht dem geplanten Unternehmen durchaus wohlwollend gegenüber“. Die AG bildet daraufhin eine Kommission zur Vorbereitung der Expedition. Ihr gehörten an: Einstein, Freundlich, Kapteyn, Ludendorff, Schorr, und Voûte.

Die Kommission der AG benannte als deutsche Expeditionsteilnehmer Dr. E. Freundlich<sup>45</sup> vom Astrophysikalischen Observatorium Potsdam, Prof. Dr. A. Kopff von der Heidelberger Sternwarte, und Priv.-Doz. Dr. J. Hopmann<sup>46</sup> von der Universitätssternwarte Bonn.

Holländischer Teilnehmer der Expedition war Dr. J. Voûte<sup>47</sup>. Die Vorfahren Voûtes waren nach Holland emigrierte Hugenotten. Er wurde in Java geboren und hatte in Holland studiert und promoviert. 1913 wurde er Assistent am Cape Observatory in Süd-Afrika. 1919 kehrte er nach Java zurück. Mit zwei reichen Freunden, K. A. R. Bosscha und K. Kerkhoven, gründete er die Niederländisch-Indische Sternkundige Vereinigung, deren Hauptziel die Gründung einer Sternwarte auf Java war. Mit dem Bau der nach Bosscha benannten Sternwarte wurde 1923 in Lembang begonnen. Lembang liegt in West-Java, ca. 15 km nördlich von Bandung<sup>48</sup>. Hauptinstrument des Bosscha Observatoriums ist ein Doppelrefraktor von Zeiss mit zwei Objektiven von je 60 cm Durchmesser und einer Brennweite von 10,7 cm. Die Montierung (oder die für ein anderes Instrument?) wurde 1922 der Sonnenfinsternis-Expedition zur Weihnachtsinsel für deren Astrographen leihweise angeboten. Die Aktivitäten Voûtes und Bosschas auf Java waren eine wesentliche Voraussetzung für die Holländisch-Deutsche Sonnenfinsternis-Expedition.

In Deutschland wurde die Expedition von den Regierungen Preußens und des Deutschen Reichs, der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft (der späteren Deutschen Forschungsgemeinschaft), der Firma Carl Zeiss in Jena, und zahlreichen privaten Spendern finanziert. Der Transport der Instrumente von Potsdam über Hamburg nach Java wurde von Schiffahrtsgesellschaften kostenlos durchgeführt, ebenso die Reise von Hamburg nach Java. In Java und auf der Weihnachtsinsel trugen die Holländer sämtliche Kosten, auch für den Transport von Java zur Weihnachtsinsel. Ohne diese holländische Unterstützung hätte die Expedition nicht durchgeführt werden können, da die deutsche Währung wegen der hohen Inflation und ihrer Abwertung nahezu nutzlos war.

---

<sup>45</sup>Zur Person von Erwin Freundlich siehe Kapitel 4.2

<sup>46</sup>Josef Hopmann (1890-1975) war damals Assistent an der Sternwarte Bonn. Er hatte sich 1920 an der Universität Bonn habilitiert und wirkte dort als Privat-Dozent. 1930 wurde er ordentlicher Professor für Astronomie und Geodäsie an der Universität Leipzig, wo er bis 1945 wirkte. Ab 1951 leitete er als Ordinarius die Universitätssternwarte Wien. Nekrolog: Ferrari d’Occhieppo (1976).

<sup>47</sup>Joan George Erardus Gijsbertus Voûte (1879-1963). Nekrolog: O’Connell (1964).

<sup>48</sup>Zur Lage von Bandung siehe die Karte in Fig. 48

Ziel der Holländisch-Deutschen Sonnenfinsternis-Expedition 1922 war die Weihnachtsinsel (Christmas Island) im Indischen Ozean südlich von Indonesien<sup>49</sup>. Unsere Figuren 47 und 48 informieren über die genaue Lage dieser Insel.

Über die Kriterien und den Zeitpunkt der Auswahl der Weihnachtsinsel als Beobachtungsort sind uns keine Unterlagen bekannt. Offenbar stand die Insel aber schon bei der Antragsstellung an die AG fest, denn keine andere „Insel im Indischen Archipel“ (außer den damals schlecht erreichbaren Malediven; siehe Kapitel 4.5.4, Punkt (2)) lag in der Totalitätszone der Sonnenfinsternis vom 21. September. Die Insel hatte den Vorteil, von Java aus relativ leicht erreichbar zu sein. Ferner wußte man sicher (über Eddington), daß auch eine englische Expedition zur Weihnachtsinsel durchgeführt werden sollte, was die Möglichkeit gegenseitiger Hilfe eröffnete.

Alternative Beobachtungsorte hätte es auf dem australischen Festland gegeben (siehe Kapitel 4.5.4). Für diese Orte gab es aber keine Finanzierungsmöglichkeit, denn die Holländer waren sicher nur bereit, einen Ort zu wählen, der nicht zu weit von Java entfernt war.

Die Weihnachtsinsel gehörte nicht zu Niederländisch-Indien (dem heutigen Indonesien), sondern war eine englische Kolonie. Erst 1958 wurde sie von England an Australien abgetreten. Sie erhielt ihren Namen, weil ein Schiff der englischen Ostindien-Kompanie sie am 25. Dezember 1643 passierte. Ihre Existenz war den Europäern aber bereits früher bekannt.

Von Java ist die Weihnachtsinsel ungefähr 500 km entfernt. Dagegen sind es bis zur australischen Küste über 1500 km. Die Insel ist vulkanischen Ursprungs. Sie ist 135 Quadratkilometer groß und überwiegend von tropischem Urwald bedeckt. Die Insel besitzt reiche Phosphat-Vorkommen, die seit 1890 abgebaut werden. Auf der Insel lebten 1922 zehn Europäer und ungefähr ein-tausend chinesische Arbeiter. In unseren Tagen machte die Weihnachtsinsel Schlagzeilen, weil dort ein Startplatz für Weltraumraketen eingerichtet werden sollte (Asia Pacific Space Centre), den vor allem Rußland als äquatornahe, kommerzielle Abschlußbasis hätte nutzen können.

---

<sup>49</sup>Die hier besprochene Weihnachtsinsel im Indischen Ozean sollte nicht mit der anderen Weihnachtsinsel (Christmas Island, heute Kiritimati (gehört jetzt zur Republik von Kiribati in Mikronesien)) verwechselt werden, die mitten im Pazifischen Ozean liegt



Fig. 47. Übersichtskarte zur Lage der Weihnachtsinsel (Christmas Island).  
Die Insel ist mit einem roten Pfeil markiert.



Fig. 48. Detaillkarte zur Lage der Weihnachtsinsel (Christmas Island). Die Insel liegt südlich von Sumatra und Java. Sie ist mit einem roten Pfeil markiert.

### 4.5.3 Ablauf der Sonnenfinsternis-Expedition zur Weihnachtsinsel

Unsere Schilderung des Ablaufs der Holländisch-Deutschen Sonnenfinsternis-Expedition von 1922 stützt sich vor allem auf die Artikel von Finlay Frendlich (1923) und Hopmann (1923), auf einen Artikel in der Zeitschrift *Sirius* (Anonym 1923), auf Zeitungsartikel<sup>50</sup> von Kopff und anderen, und auf drei Berichte, die 1922 in der englischen Zeitschrift „*The Observatory*“ (Vol. 45. S. 142, 266, 317) veröffentlicht wurden und die aus Briefen von H. Spencer Jones zitieren.

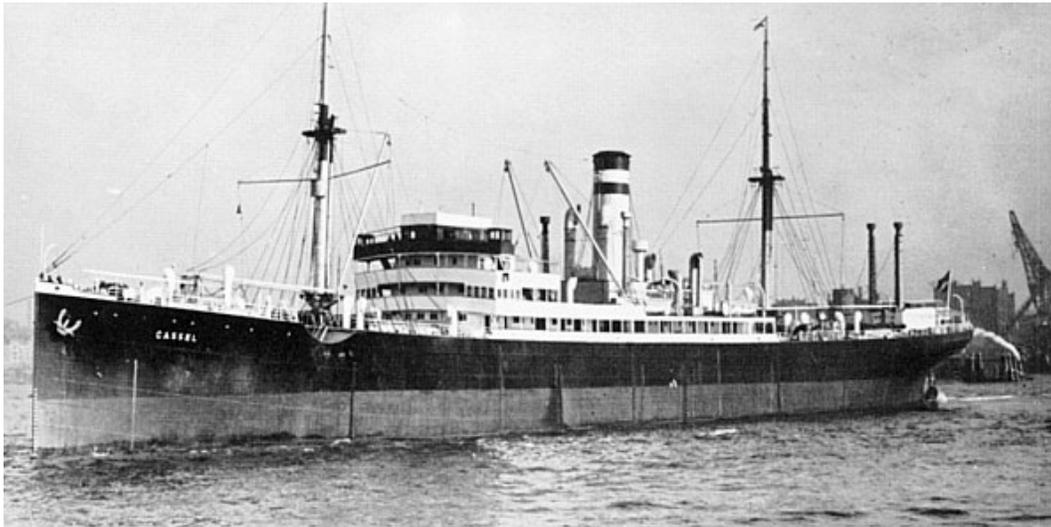


Fig. 49. Der Passagier- und Fracht-Dampfer „Cassel“  
der Deutsch-Australischen Dampfschiffs-Gesellschaft

Die Reise von Hamburg nach Batavia erfolgte auf dem Dampfer „Cassel“<sup>51</sup>. Das Schiff gehörte der Deutsch-Australischen Dampfschiffs-Gesellschaft, die die Sonnenfinsternis-Expedition dadurch förderte, daß sie die Expeditionsteilnehmer und ihre Instrumente kostenlos nach Java und zurück transportierte. Die „Cassel“ (siehe Fig. 49) war ein kombiniertes Fracht- und Passagier-Schiff mit einem Volumen von 6047 Brutto-Register-Tonnen, 59 Mann Besatzung, und Kabinen für maximal 27 Passagiere. Das Schiff war ein Neubau der Hamburger Werft Blohm und Voss. Der Stapellauf erfolgte am 21. Januar 1922 und die Indienststellung durch die Reederei am 11. Mai 1922. Vermutlich war daher die am 16. Juni 1922 begonnene Reise<sup>52</sup> zwar nicht die Jungfernfahrt der „Cassel“, aber wohl immerhin ihre zweite größere Reise.

<sup>50</sup>Die Zeitungsartikel stammen überwiegend aus den „Ernst Gehrcke Papers (Newspaper Article Collection)“ des Max-Planck-Instituts für Wissenschaftsgeschichte in Berlin (ECHO-Datenbank)

<sup>51</sup>Der Name bezieht sich auf die Stadt Kassel in Hessen. Sie schrieb sich bis 1926 „Cassel“.

<sup>52</sup>Nach Hopmann (1923) begann die Reise bereits am 15. Juni. Wir vermuten, daß die Astronomen und andere Passagiere an diesem Tag zwar ihre Schiffskabinen bezogen, das Schiff aber erst am 16. Juni den Hamburger Hafen verließ.

Die Reiseroute verlief von Hamburg über Bremerhaven, Rotterdam, Antwerpen, durch die Biskaya und vorbei an Gibraltar ins Mittelmeer. Am 2. Juli wurde Malta passiert. Von Port Said durch den Suezkanal und das Rote Meer ging die Fahrt nach Colombo auf Ceylon. Am 27. Juli wurde dann das Ziel Batavia (heutiger Name: Jakarta) auf Java erreicht. Die Reise mit der „Cassel“ hatte also sechs Wochen gedauert.

Am 1. August erfolgte die Abfahrt von Batavia zur Weihnachtsinsel mit dem Schiff „Canopus“, das der Regierung von Niederländisch-Indien gehörte und das diese für die Überfahrt zur Verfügung gestellt hatte. Die Astronomen Freundlich, Hopmann, Kopff und Voûte wurden noch von weiteren Personen begleitet: dem schweizer Ingenieur E. Weber, der bereits umfangreiche Erfahrungen bei anderen Expeditionen in Asien gesammelt hatte, dem holländischen Marineoffizier (Oberleutnant zur See) Gastmann, dem holländischen Mechaniker Verhouw, und zwei holländischen Hilfskräften (einem Koch und einem Pionier der holländischen Kolonialarmee). Die „Canopus“ war ein kleines Schiff, eher eine Yacht. Sie war gut geeignet zum Verkehr zwischen den Inseln Indonesiens, wo man in geschützten Gewässern fährt, aber weniger zu einer Reise über das offene Meer zur Weihnachtsinsel. Die Überfahrt dorthin war daher relativ unangenehm, und die meisten Mitglieder der Expedition waren froh, wieder festen Boden unter den Füßen zu haben<sup>53</sup>. Am 3. August erreichte die „Canopus“ die Weihnachtsinsel.

Die Instrumente und das sonstige Gepäck der Expedition wurde mit Unterstützung der englischen Gesellschaft, die auf der Insel Phosphat abbauete, und der Teilnehmer der englischen Expedition an Land gebracht<sup>54</sup>. Die Expedition bezog ein Quartier in der Nähe der englischen Expedition an einem Platz, der „South Point“ hieß (siehe Karte in Fig. 50).

Die Expedition verfügte über zwei große Instrumente, die primär der Messung der Lichtablenkung an der Sonne dienen sollten: einen Astrographen und eine Horizontal-Kamera, beide von der Firma Carl Zeiss in Jena gebaut. Ziel war es, mit dem Astrographen aufgrund seines großen Gesichtsfeldes den Verlauf der Lichtablenkung als Funktion des Abstands von der Sonne zu bestimmen. Die Horizontal-Kamera sollte mit ihrem mehr als doppelt so großen Abbildungsmaßstab den Wert der Lichtablenkung in Sonnennähe genauer messen.

---

<sup>53</sup>Dieser Bericht über die Überfahrt der Expedition stammt von dem Leiter der englischen Expedition zur Weihnachtsinsel, Spencer Jones (siehe Kapitel 4.5.4). Die deutschen Teilnehmer haben keine derartige Kritik veröffentlicht. Sie waren dankbar für die kostenfreie Überfahrt zur Weihnachtsinsel.

<sup>54</sup>Dabei hatte die Expedition mehr Glück als die Engländer. Da die Küste der Vulkaninsel steil ins Meer abfällt, war es Schiffen nicht möglich zu ankern. Die Engländer mußten vor der Insel neun Tage wegen schweren Seegangs warten, bevor sie ihre Instrumente ausladen konnten.

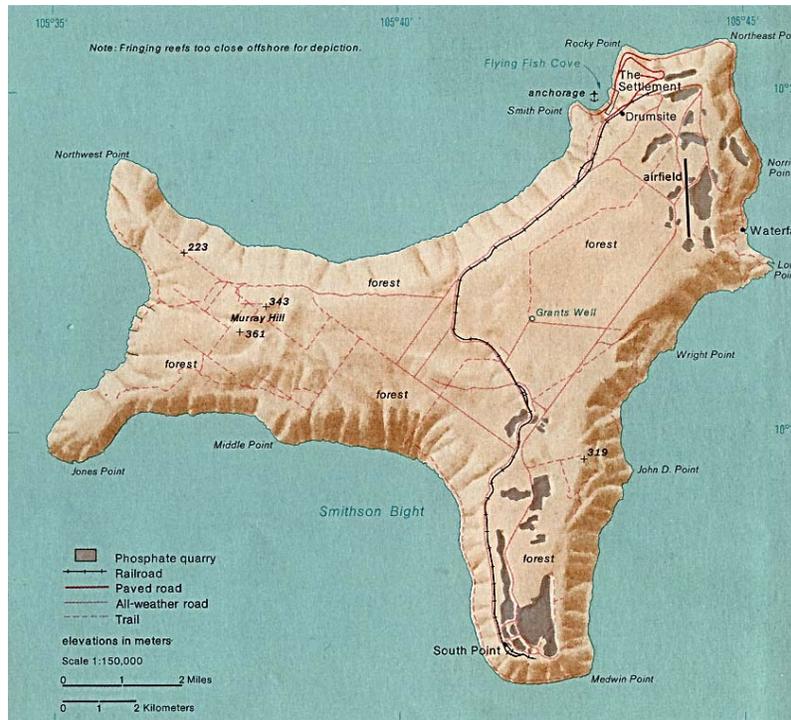


Fig. 50. Karte der Weihnachtsinsel (Christmas Island) von 1976. Der South Point ist am unteren Ende der Insel eingezeichnet. Der Maßstab ist in der Abbildung unten links angegeben. Quelle: Wikimedia Commons.

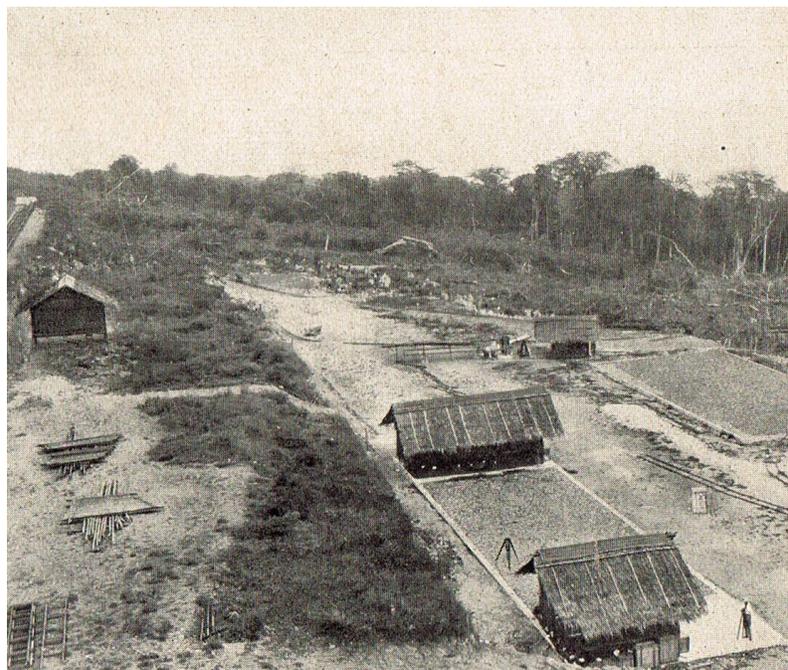


Fig. 51. Das Lager der Expedition auf der Weihnachtsinsel am South Point. Vorn die beiden Wohnhäuser. Links hinten die fahrbare Schutzhütte für den Astrographen. Rechts hinten die fahrbare Schutzhütte für die Horizontal-Kamera. Quelle: Hopmann (1923).

Der Astrograph hatte ein Objektiv von 21 cm Öffnung und 3,45 m Brennweite (siehe Fig. 52). Das Objektiv war ein Triplet, das besonders auf ein großes und zugleich ebenes Bildfeld von  $7,5 \times 7,5$  Grad ausgelegt war. Die zugehörigen Photoplatten waren aus speziell nachgeschliffenem Glas von 6 mm Dicke. Jede Platte wog 3 kg. Um Schichtverzerrungen zu kontrollieren, wurde auf die Platten ein spezielles Gitter aufkopiirt. Der Astrograph war paralaktisch montiert. Die ursprüngliche Idee, für den Astrographen eine für das Bosscha Observatorium bestimmte Montierung auf der Weihnachtsinsel einzusetzen, war verworfen worden, weil der Aufwand für deren Aufbau und Justierung auf der Insel doch als zu hoch eingeschätzt wurde. Die dann tatsächlich benutzte Montierung (in Fig. 52 gut erkennbar) war nach einem Bericht von Spencer Jones aber eigentlich zu schwach für den Astrographen.

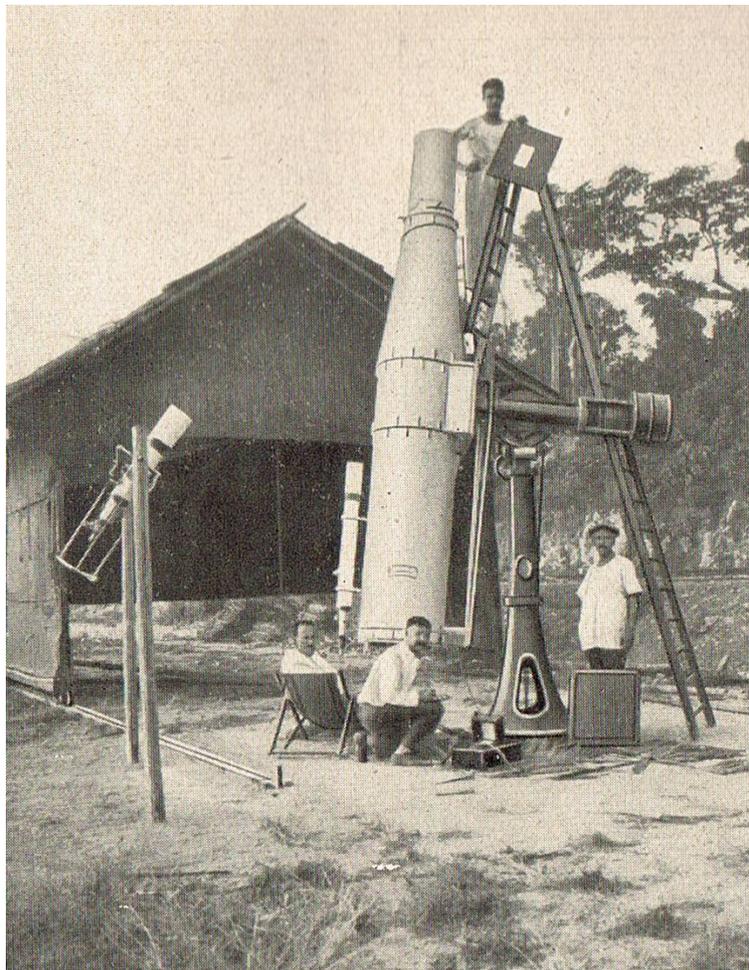


Fig. 52. In der Mitte der Astrograph mit kleinem Leitfernrohr. Links ein kleiner Refraktor („Kometensucher“). Hinten die fahrbare Schutzhütte. Quelle: Hopmann (1923).

Die Horizontal-Kamera hatte eine Öffnung von 13 cm und eine Brennweite von 8,6 m (siehe Fig. 53). Das Licht der Sonne und ihrer Umgebung wurde mit Hilfe eines Coelostaten in die Kamera gelenkt. Das Gesichtsfeld betrug 3 x 3 Grad. Es wurden ebenfalls Photoplatten im Format 45 x 45 cm benutzt.

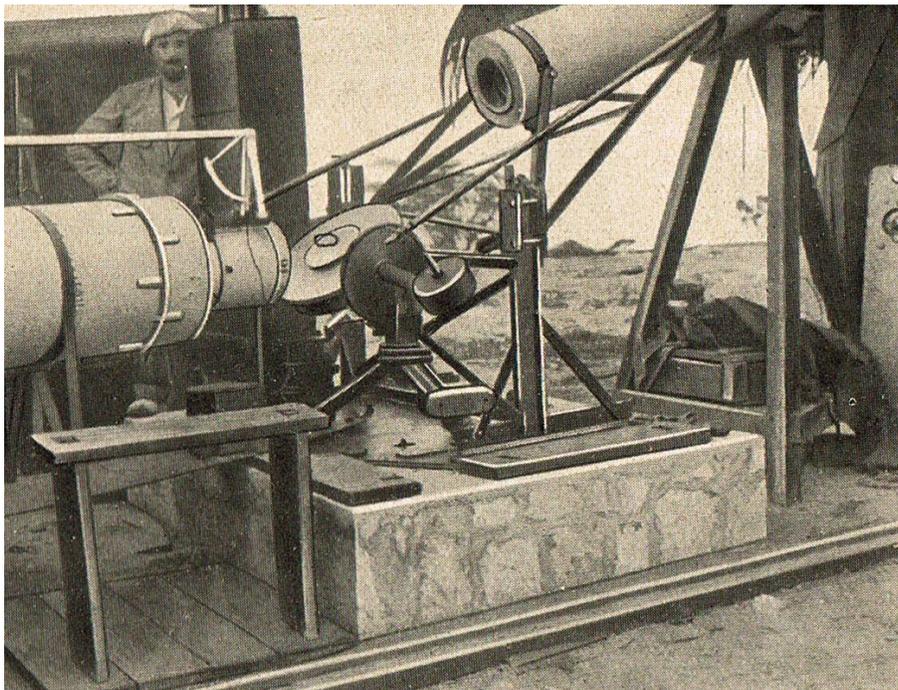


Fig. 53. Links das vordere Ende der Horizontal-Kamera mit ihrem Objektiv. In der Mitte der Coelostaten-Spiegel auf seiner Montierung. Rechts oben das vordere Ende (Objektiv) des Kollimatorfernrohrs für die Kamera. Die Person im Hintergrund ist vermutlich August Kopff. Quelle: Hopmann (1923).

Falls die Beobachtungen am Tag der Sonnenfinsternis erfolgreich sein sollten, war geplant, die Instrumente später in Java wieder in Betrieb zu nehmen, um dann dort Vergleichsaufnahmen des entsprechenden Sternfeldes bei Nacht (d.h. praktisch ohne Lichtablenkung durch die Sonne) zu machen.

Leider scheiterte die Expedition auf der Weihnachtsinsel an dem schlechten Wetter, das dort am Tag der Sonnenfinsternis, dem 21. September 1922, herrschte. Eigentlich galt der September als die wettermäßig beste Zeit auf der Insel. Der Ostmonsun hatte aber 1922 ungewöhnlich starke Bewölkung gebracht. Kopff schreibt dazu in einem Zeitungsartikel: „Der 21. September kam näher und näher heran. Das Wetter hatte in den letzten Tagen etwas von der Art eines Raubtieres, das mit seinem Opfer spielt. Die Tage vor der Finsternis waren die besten, die wir auf der Insel hatten.“. Noch in der Nacht zum 21. gelangen eine Reihe von Testaufnahmen. Am Morgen des 21. regnete es aber stark. Dann klarte es wieder auf und der erste Kontakt zwischen Sonne und

Mond konnte um 10 Uhr 16 Minuten Ortszeit noch gut beobachtet werden. Mit zunehmender Verfinsterung der Sonne wurden die Wolken immer stärker. Zum Beginn der Totalität, die gegen 11 Uhr 44 Minuten eintrat und auf der Weihnachtsinsel 3 Minuten und 42 Sekunden dauerte, war die Umgebung der Sonne in dichte Wolken gehüllt. Durch Wolkenlücken gelangen mit jedem der beiden Instrumente eine kurze, jeweils 8 Sekunden lang belichtete Aufnahme der Sonne mit Korona und Protuberanzen, aber keine Aufnahmen, die zur Bestimmung der Lichtablenkung geeignet waren (siehe Fig. 54 und 55).

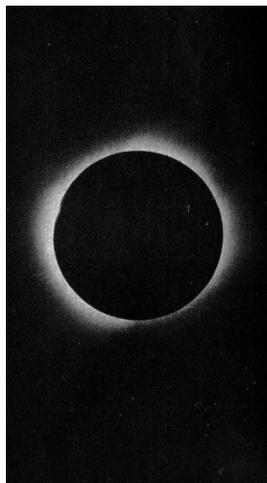


Fig. 54. Aufnahme mit dem Astrographen auf der Weihnachtsinsel (Ausschnitt). Verfinsterte Sonne mit ihrer Korona am 21. September 1922. Quelle: Hopmann (1923).

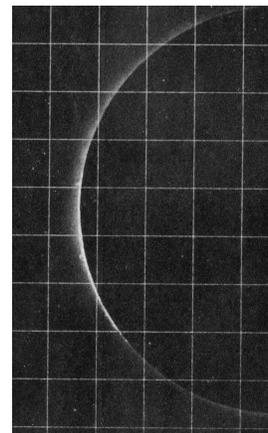


Fig. 55. Aufnahme mit der Horizontal-Kamera auf der Weihnachtsinsel (Ausschnitt). Verfinsterte Sonne mit Protuberanzen am 21. September 1922. Quelle: Hopmann (1923).

In den nächsten Tagen wurden die Instrumente abgebaut und verpackt. Am 30. September verließ die Expedition die Weihnachtsinsel wieder an Bord der „Canopus“ in Richtung Java. Auf Java konnten sich die drei deutschen Astronomen dann ungefähr drei Wochen erholen und die Sehenswürdigkeiten Javas besuchen, darunter die buddhistischen Tempelruinen in den Vorstenlanden, den Sultanshof in Djokjakarta, den Vulkan Prah[o]u, und Plantagen.

Die Rückfahrt von Java nach Hamburg wurde Ende Oktober 1922 mit dem Dampfer „Bochum“ der Deutsch-Australischen Dampfschiffs-Gesellschaft angetreten. Die „Bochum“ war ein Schwesterschiff der „Cassel“. Ihre Daten sind: Stapellauf am 13. Oktober 1921, Indienststellung am 21. Februar 1922, Volumen 6121 BRT, 58 Mann Besatzung, maximal 20 Passagiere. Die Ankunft der „Bochum“ in Deutschland muß Ende November oder Anfang Dezember 1922 erfolgt sein.

#### 4.5.4 Andere Expeditionen zur Beobachtung der Sonnenfinsternis vom 21. September 1922

##### (1) Die englische Expedition zur Weihnachtsinsel

Nicht nur die Holländisch-Deutsche Sonnenfinsternis Expedition, sondern auch eine englische Expedition der Greenwich Sternwarte hatte die Weihnachtsinsel als Beobachtungsort gewählt. Teilnehmer der englischen Expedition waren die Astronomen H. Spencer Jones<sup>55</sup>, Chief Assistant of the Greenwich Observatory, und P. J. Melotte<sup>56</sup>. In einem Bericht wird erwähnt, daß auch die Frau von Spencer Jones die Expedition begleitete.

Wissenschaftliches Hauptziel der englischen Expedition war ebenfalls die Messung der Lichtablenkung bei der Sonnenfinsternis am 21. September 1922. Zusätzlich sollten aber auch spezielle Sternfelder am Südhimmel, die sogenannten „Kapteyn Selected Areas“ mit Deklinationen von -15 Grad und -30 Grad, beobachtet werden. Für beide Aufgaben wurde der 13-Zoll-Astrograph mit seinem 10-Zoll-Leitfernrohr von Greenwich zur Weihnachtsinsel gebracht. Die parallaktische Montierung war extra auf die Polhöhe der Insel umgerüstet worden.

Die Expedition verließ England bereits am 28. Januar 1922. Sie erreichte nach einem Zwischenstop in Singapur am 14. März die Weihnachtsinsel. Die Instrumente und das Gepäck konnten aber wegen starken Seegangs erst neun Tage später ausgeladen werden. Die Expedition war aus zwei Gründen so früh angereist: Erstens sollten auf der Insel die nächtlichen Vergleichsaufnahmen des Sternfeldes, in dem die Sonne am 21. September stehen würde, gemacht werden. Zweitens sollte genügend Zeit für die Aufnahme der Selected Areas über einen möglichst großen Rektaszensionsbereich vorhanden sein.

Die Expedition konnte mit dem Astrographen eine Reihe von nächtlichen Vergleichsaufnahmen des Sternfeldes gewinnen. Dagegen scheint das Programm der Beobachtung der Selected Areas nicht durchgeführt worden zu sein, weil der Himmel nahezu niemals völlig wolkenfrei war und dadurch die Bestimmung der Sternhelligkeiten aus den Photoplatten verfälscht sein konnte. Die Beobachtung der Sonnenfinsternis am 21. September 1922 scheiterte am schlechten Wetter (siehe oben, Kapitel 4.5.3).

---

<sup>55</sup>Harold Spencer Jones (1890-1960). Er hatte damals die zweithöchste Position am Royal Greenwich Observatory (nach dem Direktor und Astronom Royal, F. W. Dyson) inne. 1923 wurde er „H.M. Astronomer at the Cape“ in Südafrika und damit Direktor des dortigen Royal Observatory. 1933 wurde er zum Astronomer Royal in England ernannt und wirkte als solcher bis 1955. Von 1945 bis 1948 war er Präsident der Internationalen Astronomischen Union. Nekrolog: Sadler (1963).

<sup>56</sup>Philibert Jacques Melotte (1880-1961), Mitarbeiter der Greenwich Sternwarte. Er hatte im Jahr 1908 auf photographischen Aufnahmen den achten Jupitermond entdeckt, der heute den Namen „Pasiphae“ trägt.

Die englische Expedition hatte ihr Lager am südlichen Ende der Weihnachtsinsel, am „South Point“ (siehe Fig. 50), aufgeschlagen. Die Holländisch-Deutsche Expedition wurde dann später in der unmittelbaren Nachbarschaft des englischen Lagers untergebracht. Die Zusammenarbeit der Mitglieder der beiden Expeditionen scheint sehr gut gewesen zu sein. Daher ist es aus heutiger Sicht unverständlich, daß weder Freundlich (1923) noch Hopmann (1923) die benachbarte englische Expedition auch nur erwähnen.

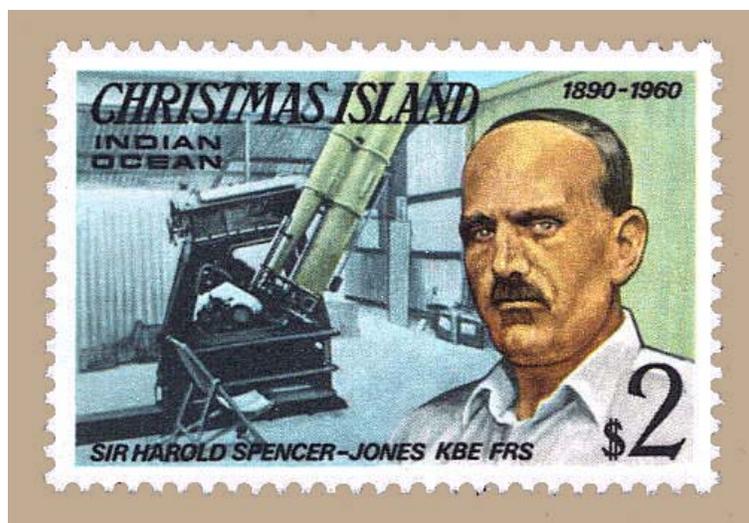


Fig. 56. Briefmarke von 1977/78, ausgegeben von Christmas Island (Weihnachtsinsel, Australien) in der Serie „Famous Visitors“. Nennwert: 2 (australische) Dollar. Im Vordergrund der Leiter der englischen Expedition, Sir Harold Spencer Jones, KBE (Knight Commander of the Order of the British Empire), FRS (Fellow of the Royal Society). Im Hintergrund die aus Greenwich zur Weihnachtsinsel verschifften Instrumente: 13-Zoll-Astrograph mit 10-Zoll-Leitfernrohr. Eine entsprechende Ehrung für Kopff oder andere Mitglieder der Deutsch-Holländischen Expedition konnten wir leider nicht finden.

Insbesondere Kopff und Spencer Jones scheinen sich sehr gut verstanden zu haben und in der Zeit ihres gemeinsamen Aufenthalts auf der Weihnachtsinsel eine dauerhafte, gute Beziehung zueinander aufgebaut zu haben, die ihre positive Auswirkung bis in die Zeit nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs entfaltete. Wir verweisen dazu auf entsprechende Kapitel in einem unserer früheren Werke (Wielen R. und Wielen U. 2012a): 2.2.2 (Eros-Beobachtungen zur Bestimmung der Sonnenparallaxe), 7.3 (Hamburger Option 1945), 7.6.1 (Finanzierung des Astronomischen Rechen-Instituts in Heidelberg ab 1945) und 7.7.6 (Literaturbeschaffung für den Astronomischen Jahresbericht nach 1945). Der besondere Einsatz von Spencer Jones für Kopff und das von diesem geleitete Astronomische Rechen-Institut in Heidelberg wird am deutlichsten aus folgendem Vorgang: Als Spencer Jones 1946 bei einem Besuch des nach Heidelberg umgesiedelten Instituts von dessen administrativen und finanziellen Schwierigkeiten erfuhr, zögerte er nicht und reiste sofort persönlich nach

Karlsruhe. Dort befand sich die für das Institut zuständige deutsche Regierungsstelle. Nach dem schriftlichen Bericht eines Regierungsmitglieds machte der direkte persönliche Einsatz von Spencer Jones in Karlsruhe einen außerordentlichen Eindruck. Denn als Astronom Royal von England war er nicht nur ein besonders ranghoher Vertreter der damaligen Besatzungsmächte, sondern als Präsident der Internationalen Astronomischen Union konnte er auch die weltweite Bedeutung der Arbeit des Heidelberger Instituts überzeugend darlegen. Welches andere deutsche Institut hatte damals schon einen solchen prominenten, ausländischen und dazu noch direkt erlebbaren Fürsprecher!

## (2) Die geplante Expedition zu den Malediven

Zunächst war 1922 auch eine Sonnenfinsternis-Expedition zu den Malediven geplant (Evershed 1923). Leiter war der Direktor des Sonnenobservatoriums Kodaikanal in Südindien, Evershed<sup>57</sup>. Die Inselgruppe der Malediven (englisch: Maldives) liegt südwestlich der Südspitze Indiens (siehe Fig. 47) und war damals ein englisches Protektorat. Die Entfernung von Kodaikanal zu den Malediven beträgt knapp eintausend Kilometer. Die Malediven hatten gegenüber der Weihnachtsinsel den Vorteil, daß die Totalität etwas länger dauerte (4 Minuten 10 Sekunden statt 3 Minuten 42 Sekunden), aber den Nachteil, daß dort die Sonne zum Zeitpunkt der Totalität nur 34 Grad über dem Horizont stand (im Vergleich zu 78 Grad auf der Weihnachtsinsel). Die Durchführung der Expedition zu einer der Malediven-Inseln (eine spezielle war noch nicht ausgesucht worden) scheiterte aber daran, daß für die schweren Instrumente damals keine brauchbare Transportmöglichkeit von Indien oder Ceylon zu den Inseln bestand. Evershed entschloß sich daher, auch nach Wallal an der Westküste Australiens (siehe folgenden Punkt (3)) zu gehen.

## (3) Expeditionen auf dem australischen Festland

Die Totalitätszone der Sonnenfinsternis am 21. September 1922 verlief auch quer über das Festland von Australien, von der Westküste bis zur Ostküste. Eine Reihe von Expeditionen beobachteten die Finsternis von verschiedenen Orten in Australien aus, z.B. von Goondiwindi (Queensland) und Cordillo Downs (South Australia). Die meisten von ihnen waren aber bezüglich der Messung der Lichtablenkung aus verschiedenen Gründen erfolglos.

Dagegen war eine Expedition in Australien überaus erfolgreich. Es war die Expedition der amerikanischen Lick-Sternwarte der Universität von Kalifornien.

---

<sup>57</sup>Der englische Astronom John Evershed (1864-1956) war von 1911 bis 1923 Direktor des Kodaikanal Observatory. Er entdeckte den „Evershed-Effekt“, der auf eine Strömung in der Penumbra von Sonnenflecken hinweist.

Ihr Leiter war Campbell<sup>58</sup>. Wichtigster Beobachter war Trümpler<sup>59</sup>, ein Mitarbeiter Campbells am Lick Observatory. Die Lick-Expedition wurde von einer Reihe kleinerer Expeditionen anderer Sternwarten begleitet, darunter der indischen Expedition unter Evershed, die zunächst zu den Malediven fahren wollte.

Als Beobachtungsort hatte Campbell eine kleine Niederlassung an der Westküste Australiens, Wallal (Western Australia), gewählt. Der Ort hatte gegenüber den anderen australischen Plätzen viele Vorzüge. Wallal war allerdings schwer erreichbar, aber dieses Problem wurde mit Hilfe der australischen Regierung bewältigt (Campbell 1923).

Vergleichsaufnahmen des Sternfeldes hatte Trümpler bereits im Sommer 1922 auf Tahiti gewonnen. Am 21. September war das Wetter in Wallal sehr gut. Die aufgenommenen Photoplatten waren von hervorragender Qualität. Die Auswertung der Aufnahmen mit der sogenannten 15-Fuß-Kamera (Campbell und Trümpler 1923a, 1923b) ergab für den Wert der Lichtablenkung am Sonnenrand 1,72 Bogensekunden mit einem wahrscheinlichen Fehler von  $\pm 0,11$  Bogensekunden (entsprechend einem mittleren Fehler von  $\pm 0,16$  Bogensekunden). Die Auswertung der Platten der 5-Fuß-Kamera (Campbell und Trümpler 1928, Trümpler 1928) dauerte wesentlich länger. Als Gesamtergebnis beider Instrumente ergab sich ein Wert von 1,75 Bogensekunden<sup>60</sup> mit einem wahrscheinlichen Fehler von  $\pm 0,09$  Bogensekunden (d.h. einem mittleren Fehler von  $\pm 0,13$  Bogensekunden).

Die Messungen der Lick-Expedition von 1922 bestätigten also erneut den von Einstein vorhergesagten Wert von 1,75 Bogensekunden, und zwar mit verbesserter Genauigkeit. Dieses Resultat galt für lange Zeit als die beste Bestätigung der Einsteinschen Vorhersage für die Lichtablenkung durch die Sonne.

Heute ist die Einsteinsche Theorie der Lichtablenkung an der Sonne mit hoher Genauigkeit (bis in den Promille-Bereich und darunter) bestätigt. Die genauesten Daten stammen von radioastronomischen Beobachtungen der jährlichen Variation der scheinbaren Örter von Quasaren mit Hilfe von interkontinentalen Interferometern (VLBI). Im optischen Bereich hat der Astrometrie-Satellit HIPPARCOS der Europäischen Raumfahrt-Behörde ESA die Lichtablenkung ebenfalls sehr genau vermessen und Einsteins Vorhersage voll bestätigt (siehe z.B. Perryman 2009). An der HIPPARCOS-Mission war das Astronomische Rechen-Institut in großem Umfang beteiligt. Der GAIA-Satellit

---

<sup>58</sup>William Wallace Campbell (1862-1938). Er war von 1900 bis 1930 Direktor des Lick Observatory der University of California.

<sup>59</sup>Robert Julius Trümpler (1886-1956). Er stammte aus der Schweiz und wanderte 1915 in die USA aus. Dort schrieb er sich „Trümpler“. Seit 1918 war er Mitarbeiter der Lick-Sternwarte. Am bekanntesten wurde er durch seinen Nachweis der interstellaren Extinktion anhand der Daten Offener Sternhaufen.

<sup>60</sup>Die exakte Übereinstimmung mit dem von Einstein vorhergesagten Wert ist angesichts des angegebenen Fehlers als Zufall anzusehen

der ESA, an dem das Institut ebenfalls mitarbeitet, soll die Genauigkeit im optischen Bereich nochmals um mindestens zwei Zehnerpotenzen verbessern.

#### 4.5.5 Lichtablenkung an der Sonne: „Einstein-Effekt“ versus „Courvoisier-Effekt“

Die Allgemeine Relativitätstheorie erlaubte seit 1919 eine befriedigende Deutung der bei Sonnenfinsternissen beobachteten Lichtablenkung als „Einstein-Effekt“. Bereits seit 1905 aber gab es eine konkurrierende Erklärung für die Ablenkung des Lichts der Sterne durch die Sonne. Es war der sogenannte „Courvoisier-Effekt“, den Courvoisier selbst die „Jährliche Refraktion“ nannte.

Leopold Courvoisier (1873-1955) war von 1898 bis 1905 Assistent an der von Valentiner geleiteten Astrometrischen Abteilung der Heidelberger Sternwarte. 1905 wurde er als Observator an die Berliner Sternwarte berufen<sup>61</sup>. Zur Person und zum Werdegang von Courvoisier siehe Richter (1957) und Wielen R. und Wielen U. (2012a, Kapitel 8.10).

Courvoisier war ein anerkannter Astronom auf dem Gebiet der Astrometrie, insbesondere für Beobachtungen mit Meridiankreisen. 1904 hatte er in Heidelberg eine umfangreiche Arbeit zur astronomischen Refraktion in der Erdatmosphäre publiziert. 1905 erschien dann noch von Heidelberg aus eine Arbeit zur „Jährlichen Refraktion“ (Courvoisier 1905). Diese sollte darin bestehen, daß die scheinbaren Örter aller Sterne in Abhängigkeit von ihrem Winkelabstand von der Sonne radial von der Sonne weg verschoben werden. Da sich der Winkelabstand der Sterne von der Sonne im Laufe des Jahres ändert (außer an den Polen der Ekliptik), ergab sich ein jährlicher Effekt. Dieser „Courvoisier-Effekt“ hat qualitativ große Ähnlichkeit mit dem „Einstein-Effekt“, ist quantitativ aber verschieden.

Die Jährliche Refraktion hatte Courvoisier empirisch gefunden. Eine überzeugende Erklärung dafür gab es nicht. Courvoisier hielt es für wahrscheinlich, daß die Brechung des Sternenlichts an einem hypothetischen, die Sonne umgebenden Medium für den Effekt verantwortlich sei. Allerdings gab es keinerlei sonstige Hinweise auf dieses Medium. Die notwendige Masse des Mediums hätte auch meßbare Effekte in den Bahnen der Planeten hervorgerufen. Heute ist aufgrund vieler anderer Beobachtungen klar, daß der „Courvoisier-Effekt“ nicht existiert. Zum Beispiel hätte er sonst bei den Messungen des Astrometrie-Satelliten HIPPARCOS der ESA deutlich in Erscheinung treten müssen.

---

<sup>61</sup>In Berlin wohnte Courvoisier als Observator der Sternwarte im Gebäude des Astronomischen Rechen-Instituts in der Lindenstraße. 1913 zog er mit der Sternwarte nach Babelsberg um.

Da aber früher die Existenz einer Jährlichen Refraktion nicht völlig ausgeschlossen werden konnte, wurde der „Courvoisier-Effekt“ in vielen Arbeiten zur relativistischen Lichtablenkung als eine mögliche, eventuell zusätzliche Quelle der Lichtablenkung diskutiert.

Courvoisier hatte für die Jährliche Refraktion eine empirische Interpolationsformel gefunden, die die Abhängigkeit der Lichtablenkung  $\Delta w$  [in Bogensekunden] als Funktion des Winkelabstands  $w$  von der Sonne [in Grad] beschrieb:  $\Delta w = 0,55 (1 - \sqrt{\sin(w/2)})$ . Die Werte in Sonnennähe waren überwiegend aus Messungen von Planeten, insbesondere von Venus in oberer Konjunktion, gewonnen worden. Selbst Kopff (1920b) beteiligte sich auf Bitte von Courvoisier von August bis Oktober 1919 an solchen Venus-Beobachtungen, allerdings in unterer Konjunktion, wo die Jährliche Refraktion verschwindend gering sein sollte. Kopff hielt damals die Jährliche Refraktion für eine diskutabile Mitursache der Lichtablenkung.

Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie ist die Lichtablenkung  $\Delta w$  proportional zu  $\cot(w/2) = 1/\tan(w/2)$ . Für kleine Werte von  $w$  ist hier  $\Delta w$  also proportional zu  $1/w$ .

$w$ [Grad]	$\Delta w$ (Einstein) [Bogensekunden]	$\Delta w$ (Courvoisier) [Bogensekunden]
RS	1,751	0,523
1	0,465	0,499
3	0,156	0,461
10	0,047	0,388
45	0,010	0,210
90	0,004	0,088
135	0,002	0,021
180	0,000	0,000

Tab.1. Vorhersage der Lichtablenkung  $\Delta w$  als Funktion des Winkelabstands  $w$  eines Sterns von der Sonnenmitte nach der Allgemeinen Relativitätstheorie (Einstein) bzw. der Jährlichen Refraktion (Courvoisier). RS: Rand der Sonne.

Tabelle 1 gibt einen quantitativen Vergleich zwischen der Vorhersage der Lichtablenkung  $\Delta w$  als Funktion des Winkelabstands  $w$  eines Sterns von der Sonnenmitte nach der Allgemeinen Relativitätstheorie (Einstein) und der entsprechenden Vorhersage der hypothetischen Jährlichen Refraktion (Courvoisier). Der vorhergesagte Wert von  $\Delta w$  nach Einstein fällt mit zunehmendem Wert von  $w$  relativ schnell ab. Dagegen verläuft die Vorhersage von  $\Delta w$  nach

Courvoisier viel flacher. Allerdings ist der Unterschied zwischen „Einstein-Effekt“ und „Courvoisier-Effekt“ bei denjenigen Werten von  $w$ , die bei Sternfeldern in der Umgebung der verfinsterten Sonne erreicht werden (typisch sind Abstände  $w$  von der Sonnenmitte von 1 bis 3 Grad), relativ gering.

Der Astrometrie-Satellit HIPPARCOS hat über 100 000 Sterne mit  $w$  zwischen ca. 47 Grad und ca. 133 Grad mit einer Genauigkeit der Sternpositionen im Bereich von Millibogensekunden (0,001 Bogensekunden) beobachtet. Aus Tab. 1 erkennt man, daß HIPPARCOS den „Courvoisier-Effekt“ mit Sicherheit ausschließen konnte. Die genaue Ursache des scheinbaren „Courvoisier-Effekts“ ist bisher nicht geklärt, liegt aber entweder in systematischen Fehlern der Meridiankreisbeobachtungen oder in deren Auswertung durch Courvoisier (siehe auch Kapitel 4.7.9 zu Kopff (1924b) und Kienle (1924b)).

Der „Courvoisier-Effekt“, d.h. die Jährliche Refraktion, ist nicht zu verwechseln mit anderen, späteren Hypothesen von Courvoisier. In diesen späteren Arbeiten versuchte er eine Lorentz-Kontraktion der Erde nachzuweisen und eine absolute Erdbewegung relativ zu einem Lichtäther zu messen (siehe z.B. Courvoisier (1951)). Obwohl Courvoisier sein Leben lang die Relativitätstheorie ablehnte, blieben seine Veröffentlichungen immer auf sachlicher Ebene. Er hat sich persönlich nicht den Kampagnen gegen Einstein und die Relativitätstheorie angeschlossen. Bei seinen Versuchen zur Messung der Jährlichen Refraktion war er sehr innovativ: Er entwickelte einen sogenannten „Großbogenmesser“, der schon das Meßprinzip von HIPPARCOS vorwegnahm, nämlich die gemeinsame Abbildung zweier weit entfernter Sternfelder in der Brennebene des Fernrohrs durch vorgeschaltete Spiegel (siehe dazu z.B. Courvoisier (1948, 1962), sowie Wielen R. und Wielen U. (2012a, Kapitel 8.10)).

#### 4.5.6 Aktivitäten von Freundlich und Kopff nach 1922

Freundlich hat nach der erfolglosen Expedition zur Weihnachtsinsel in der Folgezeit eine Reihe weiterer Sonnenfinsternis-Expeditionen unternommen mit dem Ziel, die Lichtablenkung noch genauer und mit geringerem systematischen Fehler zu messen. Es gelang ihm aber nicht, dabei wirklich überzeugende, neue Resultate zu gewinnen. Die an sich erfolgreiche Potsdamer Expedition zur Sonnenfinsternis vom 9. Mai 1929 nach Takengon in Nordsumatra ergab als Wert für die Lichtablenkung 2,24 Bogensekunden, also merklich größer als Einsteins theoretischer Wert von 1,75 Bogensekunden (Freundlich, von Klüber und von Brunn 1931). Freundlich und seine Mitarbeiter unterwarfen daher die älteren Finsternis-Beobachtungen einer Neureduktion nach ihrer Methode und erhielten daraus Werte zwischen 2,0 und 2,3 Bogensekunden. Trümpler und Ludendorff kritisierten diese Ergebnisse, aber Freundlich hielt an seiner Meinung fest, die Lichtablenkung sei tatsächlich größer als von Einstein vorhergesagt. Freundlich vertrat sogar eine neue Theorie zur Wechselwirkung des

Sternenlichts mit dem Strahlungsfeld der Sonne, aus der sich eine zusätzliche Ablenkung von 0,2 bis 0,3 Bogensekunden ergeben sollte (Freundlich 1964). Wir wissen heute, daß Freundlichs Ansicht nicht richtig war.

Für Kopff war die Expedition zur Weihnachtsinsel seine einzige derartige Unternehmung. Da Kopff 1924 Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts in Berlin wurde, hatte er von da ab für solche zeitraubenden Aktivitäten, die nicht zum Arbeitsspektrum des Instituts gehörten, keine Gelegenheit mehr. Trotzdem verfolgte Kopff die Ergebnisse der Messungen zur Lichtablenkung weiterhin sehr genau, wie man aus seinen Publikationen zur Relativitätstheorie und ihrer empirischen Bestätigung sehen kann (z.B. Kopff 1924b, 1932).

## 4.6 Kopffs Lehrbuchartikel über die Relativitätstheorie von 1928

*Im Literatur-Verzeichnis aufgeführt unter:* Kopff, A. 1928

### *Einführung:*

Kopff war der Herausgeber des Fünften Bandes, Zweite Hälfte, von Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik (11. Auflage), der 1928 erschien. Der Titel des Halbbandes lautete: „Physik des Kosmos (einschließlich Relativitätstheorie)“. Zu diesem Halbband trug Kopff selbst auch zwei Kapitel bei, darunter das Kapitel „Relativitätstheorie“.

### *Bibliographische Angaben zum Lehrbuch (Gesamttitle):*

Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik. 11. Auflage. Unter Mitwirkung zahlreicher Gelehrter herausgegeben von A. Eucken, O. Lummer, E. Waetzmann. In fünf Bänden: I. Mechanik und Akustik, II. Lehre von der strahlenden Energie (Optik), III. Wärmelehre, IV. Elektrizität und Magnetismus, V. Physik der Erde und des Kosmos (einschließlich Relativitätstheorie). Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1925-1934.

### *Bibliographische Angaben zum Band V, Zweite Hälfte, des Lehrbuchs:*

Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik. 11. Auflage. Fünfter Band - Zweite Hälfte. Physik des Kosmos (einschließlich Relativitätstheorie). Herausgegeben von August Kopff, Berlin-Dahlem. Unter Mitwirkung von P. ten Bruggencate, Göttingen; R. Emden, München; K. Graff, Hamburg-Bergedorf; J. Hellerich, Kiel; J. Hopmann, Bonn; H. Kienle, Göttingen; E. von der Pahlen, Potsdam; C. Wirtz, Kiel. Mit 139 Figuren im Text und 14 Tafeln. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1928. XII und 596 Seiten.

### *Bibliographische Angaben zum Artikel Kopffs zur Relativitätstheorie im Lehrbuch:*

Von A. Kopff in Berlin-Dahlem: Relativitätstheorie. In: Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik. 11. Auflage. Fünfter Band - Zweite Hälfte. Physik des Kosmos (einschließlich Relativitätstheorie). [Weitere Angaben zu diesem Band siehe oben]. Seite 516-579.

### *Hinweis auf Scans:*

In den Fig. 57 bis 68 geben wir Scans der Serien-Titelseite, der Band-Titelseite, des Vorworts (S. V-VI), des Inhaltsverzeichnisses des Kopffschen Artikels (S. XII), der beiden ersten Seiten der Einleitung des Artikels (§ 1. S. 516-517), sowie des kompletten § 11 („Das kosmologische Problem in der Relativitätstheorie“. S. 572-576) wieder.

*Preis der zweiten Hälfte des Bandes V :*  
geheftet 36,- RM; gebunden 39,50 RM.

*Besonderheiten:* Die namensgebenden, ursprünglichen Autoren des Werkes waren Johann Heinrich Jacob Müller (1809-1875) und Claude Servais Mathias Pouillet (1790-1868). Frühere Auflagen des Lehrbuchs trugen den Titel „Lehrbuch der Physik und Meteorologie“. Der Band V erschien in zwei Hälften. Die erste Hälfte trug den Titel „Physik der Erde“, erschien ebenfalls 1928, hatte XVIII und 840 Seiten, und wurde von Alfred Wegener (1880-1930) herausgegeben, der heute vor allem wegen seiner Theorie der Kontinentaldrift (Plattentektonik) bekannt ist. Wegener hatte 1905 in Berlin in Astronomie bei dem damaligen Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts, Julius Bauschinger (1860-1934), mit einer astronomischen Arbeit über „Die Alfonsinischen Tafeln für den Gebrauch eines modernen Rechners“ promoviert. Kopff war der Herausgeber der zweiten Hälfte des Bandes V: „Physik des Kosmos (einschließlich Relativitätstheorie)“. Kopff trug zu diesem Band zwei Artikel bei: Neuntes Kapitel: „Das Sternsystem“, Seite 429-488, und das Schlußkapitel (ohne Kapitelnummer): „Relativitätstheorie“, Seite 516-579.

*Inhaltsverzeichnis des Bandes:*

Kapitel I: P. ten Bruggencate und H. Kienle: Astronomische und physikalische Grundbegriffe.

Kapitel II: J. Hopmann: Die astronomischen Instrumente und Beobachtungsmethoden.

Kapitel III: P. ten Bruggencate und H. Kienle: Der Stern als strahlender Gasball.

Kapitel IV: R. Emden: Die Sonne.

Kapitel V: K. Graff: Die Weltkörper des Sonnensystems.

Kapitel VI: C. Wirtz: Der einzelne Stern.

Kapitel VII: J. Hellerich: Doppelsterne und Veränderliche.

Kapitel VIII: E. von der Pahlen: Sternhaufen und Nebel.

Kapitel IX: A. Kopff: Das Sternsystem.

Kapitel X: H. Kienle: Probleme der Kosmogonie.

Letztes Kapitel ohne Nummer: A. Kopff: Relativitätstheorie.

*Kommentar:*

Das Werk nennt sich zwar „Lehrbuch“, es steht niveaumäßig aber zwischen den einführenden Lehrbüchern der Physik und den großen Handbüchern. In seiner unten zitierten Besprechung (Kapitel 4.6.1, Punkt (6)) merkt Arnold Berliner aber an, daß das Werk sich nun „unverkennbar einem Handbuch der Physik nicht unerheblich genähert hat.“.

Warum der Artikel zur Relativitätstheorie in Band V (2. Hälfte) erscheint, begründet Kopff in seiner Einleitung zu diesem Artikel (siehe Fig. 62-63). Kopffs Artikel umfaßt sowohl die Spezielle als auch die Allgemeine Relativitätstheorie. Mit einer Länge von 64 Seiten erreicht der Artikel aber nicht einmal ein Drittel des Umfangs des Buches von Kopff (1921a, 1923a). Die Darstellung ist daher recht gedrängt. Dennoch verzichtet Kopff nicht auf eine ausführliche Darstellung der Ideen der Relativitätstheorie und ihrer Beziehungen zur

klassischen Physik. Der vorgestellte Formelapparat ist bei Weitem nicht so umfangreich wie der in seinem Buch. Gegenüber dem Buch ist aber der Abschnitt, der sich mit der empirischen Bestätigung der Theorie und mit ihrer kosmologischen Anwendung beschäftigt, erheblich ausgebaut und verbessert.

In das uns vorliegende Privat-Exemplar des Werks hat Kopff mit Bleistift zahlreiche Anmerkungen eingetragen. Allerdings beziehen sich davon nur wenige auf sein Kapitel über Relativitätstheorie (Lustiger Schreibfehler im mehrfach auftretenden Wort „Zentripetalkraft“ (statt „Zentripetalkraft“. Der Ausdruck stammt vom lateinischen Wort „petere“, nicht von „pedere“!) und zwei Literaturhinweise). Die meisten Notizen befinden sich in Kopffs Kapitel IX (Das Sternsystem). Die Zahl der angemerkten Fehler ist aber auch dort sehr gering. Die Hinweise auf neuere Literatur reichen bis ca. 1931.

Zahlreiche Rezensionen des Bandes V, 2. Hälfte, des Lehrbuchs zitieren wir in Kapitel 4.6.1. Zu Kopffs Kapitel zur Relativitätstheorie weisen wir auch auf unsere Anmerkung in Kapitel 8.5 hin.

Eine brieflich geäußerte Kritik von F. von Krbek (siehe Kapitel 8.3.6) an Kopffs Ableitung der Lorentztransformation ist sachlich nicht gerechtfertigt.

Müller-Pouillet's  
**Lehrbuch der Physik**

11. Auflage

Unter Mitwirkung zahlreicher Gelehrter herausgegeben von

**A. Eucken O. Lummer † E. Waetzmann**

In fünf Bänden:

- I. Mechanik und Akustik II. Lehre von der strahlenden Energie (Optik)  
III. Wärmelehre IV. Elektrizität und Magnetismus  
V. Physik der Erde und des Kosmos (einschl. Relativitätstheorie)

**Band V: Physik der Erde und des Kosmos**  
(einschl. Relativitätstheorie)

- I. Hälfte: Physik der Erde  
II. Hälfte: Physik des Kosmos (einschl. Relativitätstheorie)

---

Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.  
Braunschweig

Fig. 57. Serien-Titelblatt des Bandes mit dem Lehrbuchartikel von Kopff (1928)

Müller-Pouillet's  
**Lehrbuch der Physik**

11. Auflage

Fünfter Band – Zweite Hälfte

**Physik des Kosmos**  
(einschl. Relativitätstheorie)

Unter Mitwirkung von

P. ten Bruggencate, Göttingen; R. Emden, München; K. Graff,  
Hamburg-Bergedorf; J. Hellerich, Kiel; J. Hopmann, Bonn;  
H. Kienle, Göttingen; E. von der Pahlen, Potsdam; C. Wirtz, Kiel

herausgegeben von

**August Kopff**  
Berlin-Dahlem



Mit 139 Figuren im Text und 14 Tafeln

---

Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.  
Braunschweig 1928

Fig. 58. Band-Titelblatt des Bandes mit dem Lehrbuchartikel von Kopff (1928)

## Vorwort.

Als O. Lummer in Gemeinschaft mit den gegenwärtigen Herausgebern des Lehrbuches der Physik von Müller-Pouillet, A. Eucken und E. Waetzmann, die neue 11. Auflage vorbereitete, entstand der Plan, die Physik der Erde und des Kosmos in weiterem Umfang als bisher zu berücksichtigen. Diese beiden Zweige der angewandten Physik benötigen jetzt in noch stärkerem Maße als früher die reine Physik zur Erklärung der beobachteten Erscheinungen, und beide Zweige wirken ihrerseits in stärkerem Maße befruchtend auf die Physik ein. So kam es zu dem Entschluß, der Physik der Erde und des Kosmos einen besonderen Band zu widmen.

Der unterzeichnete Herausgeber des vorliegenden Teilbandes, der Physik des Kosmos, stand vielfach wegen der Anordnung des Stoffes und der Auswahl der Mitarbeiter mit O. Lummer in Verbindung, und er hat dann nach dessen Tod die Weiterführung der Arbeit übernommen. Der Plan des Buches entspringt im wesentlichen den von den Herausgebern des ganzen Werkes aufgestellten Grundsätzen, dem physikalisch interessierten Leser einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der astronomischen Forschung zu geben.

Im Gegensatz zu den bis jetzt erschienenen Teilen der neuen Auflage des Müller-Pouillet erfolgte hier eine stärkere Aufteilung des Stoffes unter verschiedene Mitarbeiter. Es entstand auf diese Weise eine Reihe selbständiger Kapitel, die naturgemäß nicht frei von Wiederholungen sein konnten. Es wurde versucht, diese letzteren in den richtigen Grenzen zu halten, und es dürfte vielleicht gerade ein Vorzug des Buches geworden sein, daß nun zum Teil derselbe Stoff von verschiedenen Autoren unter verschiedenen Gesichtspunkten behandelt ist. Der Unterzeichnete war zugleich bemüht, die einzelnen Kapitel durch möglichst zahlreiche Hinweise miteinander in Beziehung zu setzen. Die Auswahl der Mitarbeiter lag zum größten Teil in den Händen von O. Lummer, A. Eucken und E. Waetzmann. Ein wesentlicher Anteil an der Bearbeitung des Teilbandes sollte ursprünglich dem leider so früh verstorbenen Potsdamer Astronomen G. Schnauder zufallen, der sich noch an der Ausarbeitung der Einzelheiten des Planes in stärkerem Umfang beteiligt hatte. Sein plötzlicher Tod machte die Gewinnung neuer Mitarbeiter und eine Veränderung der ursprünglichen Arbeitseinteilung notwendig.

Fig. 59. Seite 1 des Vorworts des Bandes mit dem Lehrbuchartikel von Kopff (1928)

Über die einzelnen Kapitel ist das Folgende zu sagen: Ein einleitendes Kapitel (P. ten Bruggencate und H. Kienle) — in dieser Art völlig neu — erläutert die astronomischen und physikalischen Grundbegriffe. Es soll dem Leser zur raschen Orientierung dienen. Ein Kapitel über die astronomischen Instrumente und Beobachtungsmethoden (J. Hopmann) behandelt die praktische Seite der Astronomie und Astrophysik; doch finden sich vielfach speziellere Probleme auch in den folgenden Kapiteln weiter ausgeführt. Der rasch in den Mittelpunkt des Interesses getretenen theoretischen Astrophysik kommt das Kapitel über den Stern als strahlenden Gasball (P. ten Bruggencate und H. Kienle) entgegen. Es erörtert naturgemäß schwierigere Fragen der modernen Astrophysik. Man findet aber die Ergebnisse zum Teil später, besonders in dem Kapitel über die Sonne und den einzelnen Stern, in leichter zugänglicher Form wieder zusammengestellt.

Der Hauptteil des Bandes behandelt die Einzelergebnisse der astrophysikalischen Forschung. Er zerfällt in die Kapitel über die Sonne (R. Emden); die Weltkörper des Sonnensystems (K. Graff); den einzelnen Stern (C. Wirtz); Doppelsterne und Veränderliche (J. Hellerich); Sternhaufen und Nebel (E. von der Pahlen), sowie das Sternsystem (A. Kopff). Ein kurzes Kapitel ist der Kosmogonie (H. Kienle) gewidmet und soll dieses Gebiet wenigstens soweit darstellen, als einigermaßen zuverlässige Aussagen sich überhaupt machen lassen. Die Himmelsmechanik ist dem ersten Band des Müller-Pouillet zugewiesen worden.

Ein den Band abschließendes Kapitel behandelt die Relativitätstheorie (A. Kopff) und ist als Einführung gedacht. Es lag ursprünglich in der Absicht der Herausgeber des Gesamtwerkes, die Relativitätstheorie ganz in den Teilband über die Physik des Kosmos zu verarbeiten. Warum sie schließlich in einem geschlossenen Kapitel dem Band angehängt wurde, ist in der Einleitung zur Relativitätstheorie selbst auseinandergesetzt.

Infolge der verspäteten Ablieferung eines Artikels blieben die übrigen zum Teil über ein Jahr liegen. Doch haben die Bearbeiter in entgegenkommender Weise ihre Kapitel einer nochmaligen Durchsicht unterzogen. Zum Schluß möchte ich Herrn Geh. Rat M. Wolf in Heidelberg-Königstuhl und Herrn Prof. Schorr in Hamburg-Bergedorf für die Überlassung verschiedener Originalaufnahmen besonders danken. Herr F. Gondolatsch besorgte zum großen Teil die Herstellung des Namen- und Sachverzeichnisses.

Berlin-Dahlem, Dezember 1927.

**A. Kopff.**

Fig. 60. Seite 2 des Vorworts des Bandes mit dem Lehrbuchartikel von Kopff (1928)

**Relativitätstheorie.**

Von A. Kopff in Berlin-Dahlem.

a) Die Entwicklung der klassischen Physik.		Seite
§ 1.	Einleitung . . . . .	516
§ 2.	Die Entwicklung der klassischen Mechanik . . . . .	517
§ 3.	Kritik und Weiterentwicklung der begrifflichen Grundlagen der Newtonschen Mechanik. Das allgemeine Relativitätsprinzip . . . . .	520
§ 4.	Entwicklung der Optik und Elektrodynamik. Das spezielle Relativitätsprinzip . . . . .	524
b) Die spezielle Relativitätstheorie.		
§ 5.	Galilei-Transformation und Lorentz-Transformation. Raum und Zeit in der speziellen Relativitätstheorie . . . . .	528
§ 6.	Die Tensoren und die Tensordarstellung der Naturgesetze . . . . .	538
§ 7.	Die Elektrodynamik der speziellen Relativitätstheorie . . . . .	546
§ 8.	Die Mechanik der speziellen Relativitätstheorie . . . . .	554
c) Die allgemeine Relativitätstheorie (Weltgeometrie).		
§ 9.	Das Äquivalenzprinzip und die Gravitationsfelder . . . . .	558
§ 10.	Die Gravitationstheorie Einsteins . . . . .	566
§ 11.	Das kosmologische Problem in der Relativitätstheorie . . . . .	572
§ 12.	Die Weiterentwicklung der Relativitätstheorie . . . . .	576

Fig. 61. Inhaltsverzeichnis zum Lehrbuchartikel von Kopff (1928)

# Relativitätstheorie.

Von **A. Kopff** in Berlin-Dahlem.

## a) Die Entwicklung der klassischen Physik.

**§ 1. Einleitung.** Es bedarf vielleicht einiger Worte der Rechtfertigung, warum die Relativitätstheorie an dieser Stelle eines Lehrbuches der Physik erscheint, als Abschluß des Bandes über die kosmische Physik, insbesondere über die Astrophysik. Die einen werden meinen, daß ein modernes Lehrbuch der Physik so völlig im Geiste der Relativitätstheorie aufgebaut sein müsse, daß ein besonderes Kapitel über diese Theorie seinen Sinn verliert. Andere dagegen vertreten die Ansicht, daß die Relativitätstheorie von so falschen Überlegungen ausgeht, oder doch wenigstens noch so wenig geklärt ist, daß man sie mehr kritisch an denjenigen Stellen behandeln sollte, an denen die von ihr angeschnittenen Fragen im Rahmen dieses Lehrbuches behandelt werden.

So erfreulich es wäre, ein Lehrbuch der Physik zu besitzen, das allein auf den Grundlagen der Relativitätstheorie beruht, so fällt doch diese Aufgabe — im gegenwärtigen Augenblick wenigstens — nicht dem hier vorliegenden Lehrbuch zu, das einen Überblick über den jetzigen Stand der Physik geben soll. Andererseits wären zerstreute Hinweise auf die Relativitätstheorie, die sich ja in verschiedenen Teilen der vorhergehenden Bände bereits vorfinden <sup>1)</sup>, doch wiederum nicht hinreichend, um die Bedeutung dieser Theorie im ganzen Umfang zu erkennen. Dies kann nur durch eine geschlossene Darstellung an einer Stelle zu erreichen versucht werden.

Für uns gegenwärtig stellt die Relativitätstheorie einen groß angelegten Versuch dar, unser gesamtes physikalisches Wissen im weitesten Sinne — mit Ausnahme der Vorgänge im Atom — zu einer Einheit zusammenzufassen, und dieser Versuch ist zu einem ersten Abschluß gekommen. Die grundlegenden Prinzipien sind durchdacht, die Folgerungen bis in die letzten für uns erreichbaren Einzelheiten hinein gezogen worden. Gewichtige Schwierigkeiten gedanklicher oder experimenteller Art haben sich bis jetzt nirgends herausgestellt, doch ist eine fruchtbare und entscheidende Fortentwicklung erst beim Auffinden neuer Beobachtungstatsachen zu erwarten. Die Relativitätstheorie hat bis heute den Charakter eines Versuches noch nicht verloren. Das Wesentliche dabei ist, daß dieser Versuch kein willkür-

<sup>1)</sup> Vgl. besonders Bd. II, 1, 1. und 2. Kapitel (Abschnitt II).

Fig. 62. Seite 1 des Lehrbuchartikels von Kopff (1928)

licher, durch die Laune eines einzelnen hervorgerufen ist. Die Entwicklung der Physik drängte mit Notwendigkeit zu ihm hin, und die Weiterentwicklung muß mit Notwendigkeit durch ihn hindurchgehen.

Dieser Umstand rechtfertigt die Darstellung der Relativitätstheorie gerade an dieser Stelle. Ihr Platz kann weder die Mechanik noch auch die Optik oder Elektrodynamik sein, sondern infolge der Bedeutung dieser Theorie für die ganze Physik, einschließlich der des Kosmos, nur das Ende des gesamten Lehrbuches. Und diese Übersicht muß die Verknüpfung mit der klassischen Physik dadurch herstellen, daß sie die Relativitätstheorie in den Entwicklungsgang der klassischen Physik einzureihen bestrebt ist.

Fig. 63. Seite 2 (oberer Teil) des Lehrbuchartikels von Kopff (1928)

**§ 11. Das kosmologische Problem in der Relativitätstheorie.** Die in § 10 zuletzt hervorgehobenen Schwierigkeiten versuchte Einstein<sup>1)</sup> dadurch zu umgehen, daß er das System der Gravitationsgleichungen (75) durch ein etwas allgemeineres ersetzte. An Stelle des Krümmungstensors  $R_{ik}$  tritt der Tensor  $R_{ik} + \lambda g_{ik}$  (vgl. S. 568), und die Gravitationsgleichungen (74) nehmen dadurch die Form an:

$$R_{ik} + \lambda g_{ik} = -\kappa (T_{ik} - 1/2 g_{ik} T) \dots \dots \dots (77)$$

wo  $\lambda$  und  $\kappa$  Konstanten sind und  $T_{ik} = \mu u^i u^k$  gesetzt wird.

Im Falle der Bewegung außerhalb der Materie wird  $R_{ik}$  nicht Null, sondern es besteht die Gleichung

$$R_{ik} = \lambda g_{ik} \dots \dots \dots (78)$$

Während nun die ursprünglichen Gravitationsgleichungen nur unter der Annahme der Gültigkeit der speziellen Relativitätstheorie im Unendlichen zu einer Lösung geführt haben, ist diese Schwierigkeit bei den neuen Gravitationsgleichungen beseitigt.

Betrachten wir zuerst die Gleichungen (77), die die verallgemeinerte Gravitationstheorie von Einstein bilden. Unter der speziellen Annahme, daß der Raum im Durchschnitt mit ruhender Materie gleichmäßig dicht erfüllt ist, daß also das System der  $T_{ik}$  übergeht in:

$$\left. \begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu \end{array} \right\} \dots \dots \dots (79)$$

ist eine Lösung der Gravitationsgleichungen möglich. Das System der  $g_{ik}$  führt, in Polarkoordinaten ausgedrückt, zu einem Linienelement von der Form

$$ds^2 = a^2 d\chi^2 + a^2 \sin^2 \chi (d\psi^2 + \sin^2 \psi d\varphi^2) - c^2 dt^2 \dots \dots (80)$$

Dieses Linienelement entspricht in seinem räumlichen Teil einem geschlossenen dreidimensionalen Raum von positiver Krümmung, der sphärisch oder elliptisch sein kann<sup>2)</sup>. An Stelle des unendlichen Raumes der euklidischen Geometrie tritt also ein endlicher Raum, für welchen Grenzbedingungen im Unendlichen nicht mehr notwendig sind. Die Krümmung ist im Durchschnitt konstant und weicht nur in der unmittelbaren Nähe der einzelnen Massen vom Mittelwert ab. Die Zeit behält dagegen, von lokalen Abweichungen abgesehen, euklidischen Charakter bei; die Zeitachse läuft von  $-\infty$  bis  $+\infty$ . Man kann diese Einsteinsche vierdimensionale „Welt“ deshalb auch als Zylinderwelt bezeichnen.

Die Gravitationsgleichungen (77) führen bei der dem Linienelement (80) entsprechenden Lösung auf einen Zusammenhang zwischen dem Krümmungsradius  $a$  der geschlossenen Welt und der mittleren Dichte der Materie  $\mu$ . Setzt man die Werte für die Koeffizienten des Linienelementes ein, so erhält man

<sup>1)</sup> A. Einstein, Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1917, S. 142.

<sup>2)</sup> Hier sei besonders auf die ausführlicheren Darstellungen bei E. R. Neumann, M. v. Laue und A. S. Eddington hingewiesen.

elements (80) in die Gravitationsgleichungen (77) ein, so kommt man mit Rücksicht auf (79) zu der Beziehung

$$\lambda = \frac{\varkappa \mu}{2} = \frac{1}{a^2} \dots \dots \dots (81)$$

woraus man als Gesamtmasse  $M$  für den sphärischen Raum:

$$M = 2 \mu \pi^2 a^3 = 4 \pi^2 \frac{a}{\varkappa} \dots \dots \dots (82)$$

bzw. für den elliptischen Raum

$$M = \mu \pi^2 a^3 = 2 \pi^2 \frac{a}{\varkappa} \dots \dots \dots (83)$$

erhält. Der mittlere Krümmungsradius  $a$  des Raumes ist also durch die gesamte Masse  $M$  des Weltalls bedingt. Ist im Weltall keine Masse vorhanden, so ist  $a = 0$ ; die Existenz des Raumes ist also an die Materie gebunden. Dabei ist es nicht notwendig, daß diese das Weltall in Form eines Nebels gleichmäßig erfüllt; vielmehr gelten die Überlegungen auch bei einer Konzentration der Materie an einzelnen Stellen<sup>1)</sup>. Nur muß in sehr großen Räumen die Verteilung eine gleichmäßige bleiben.

Es ist nun die Frage aufzuwerfen, ob die Möglichkeit besteht, daß unser Raum ein nichteuklidischer, geschlossener ist. Schon vor der Relativitätstheorie hatte K. Schwarzschild<sup>2)</sup> untersucht, ob die Beobachtungsdaten mit einer von Null verschiedenen positiven oder negativen Raumkrümmung verträglich sind; er konnte damals zeigen, daß die Parallaxenbeobachtungen zwar eine gewisse untere Grenze für den Krümmungsradius festlegen, daß aber die Erfahrungstatsachen sowohl mit einem euklidischen als auch mit einem elliptischen oder hyperbolischen Raum verträglich sind. Ausführlicher hat dann noch P. Harzer<sup>3)</sup> dieselbe Frage behandelt. Auch er kam zu dem Ergebnis, daß die Gesamtheit der astronomischen Beobachtungstatsachen mit einer von Null verschiedenen Raumkrümmung vereinbart werden kann.

Unmittelbar ausgehend von den Überlegungen der Relativitätstheorie hat dann W. de Sitter<sup>4)</sup> versucht, aus den Beobachtungen einen unteren Grenzwert für den Krümmungsradius  $a$  des elliptischen Raumes zu bestimmen. Er findet hierfür Werte von  $10^{12}$  bis  $10^{13}$  mittleren Erdbahnradien, d. h. etwa  $10^8$  Lichtjahre. Neuerdings hat E. Hubble<sup>5)</sup> ähnliche Rechnungen ausgeführt, die auf seinen statistischen Untersuchungen über die außer-galaktischen Nebel beruhen. Nimmt man an, daß diese als selbständige kosmische Systeme durchschnittlich gleichmäßig verteilt sind, so kommt man zu einer mittleren Massendichte von  $1,5 \cdot 10^{-31}$  g pro Kubikzentimeter für das Universum. Für einen geschlossenen sphärischen Raum würde sich ein Krümmungsradius  $a$  von  $2,7 \cdot 10^{10}$  parsec und eine Gesamtmasse  $M$  des Universums von  $9 \cdot 10^{23}$  Sonnenmassen ergeben. Die größte in einem sphärischen Raum mögliche Entfernung ist  $\pi a$ ; die größte kosmische Entfernung, bis zu der

<sup>1)</sup> M. v. Laue, Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1923, S. 27.  
<sup>2)</sup> Vierteljahrsschr. d. Astron. Gesellsch. **35**, 337, 1900.  
<sup>3)</sup> Jahresber. d. deutsch. Mathematiker-Vereinigg. **17**, 237, 1908.  
<sup>4)</sup> Monthly Not **78**, 24, 1917—1918.  
<sup>5)</sup> Astrophys. Journ. **64**, 321, 1926.

Fig. 65. Seite 2 des § 11 des Lehrbuchartikels von Kopff (1928)

der 100 zöllige Spiegel des Mt. Wilson Observatory vorzudringen vermag, ist etwa  $10^7$  bis  $10^8$  parsec. Es wäre also schon jetzt möglich, einen erheblichen Teil des ganzen Universums durch unsere optischen Hilfsmittel zu erschließen.

Bei aller Unsicherheit, die den vorhergehenden Überschlagsrechnungen naturgemäß anhaftet, ergibt sich doch so viel, daß die universelle Konstante  $\lambda$  außerordentlich gering ist; das Glied  $\lambda g_{ik}$  kann in begrenzten Bereichen ganz vernachlässigt werden. Die Gravitationsgleichungen (77) stellen also einmal in der engeren Umgebung einzelner Massen (bei verschwindendem  $\lambda$ ) die Bewegungsvorgänge dar, und zwar in vollkommenerer Weise, als dies die Newtonsche Mechanik vermag. Für das Universum als Ganzes führen sie bei einem von Null verschiedenen  $\lambda$ -Wert zu einer Abhängigkeit der Existenz des Raumes und der Zeit von der Materie. Die Forderung, daß räumliche und zeitliche Größen nicht an sich, sondern nur in Verknüpfung mit der Materie bestehen sollen, wird durch die Gravitationsgleichungen (77) also befriedigt. Die Welt muß dann allerdings eine endliche Ausdehnung besitzen, die Materie im Kosmos im ganzen gleichmäßig dicht verteilt sein.

Damit ist die ursprünglich von der Relativitätstheorie aufgestellte Forderung Machs zwar erfüllt, aber in einer noch keineswegs vollständigen Weise. Alle Bewegungen sollten nur als solche von Massen relativ zueinander aufgefaßt werden können. Insbesondere sollten die Zentrifugalkräfte allein durch die Rotation in bezug auf die gesamte Materie des Weltalls bedingt sein. Wir wissen jetzt nur, daß wir von einer Bewegung, von einer Rotation nicht reden können, wenn Materie nicht vorhanden ist. Damit ist dann das Auftreten der Trägheitskräfte an die Materie gebunden. Aber in welcher Weise man sich diese Bedingtheit vorzustellen hat, darüber fehlen bestimmte Anhaltspunkte durchaus. Man kann sich nach Einstein<sup>1)</sup> vielleicht vorstellen, daß jede Beschleunigung oder Rotation in bezug auf die Gesamtheit der Materie das Trägheitsfeld in ähnlicher Weise induziert, wie beschleunigt bewegte elektrische Ladungen ein elektrisches Feld induzieren. Damit ist wenigstens eine Möglichkeit aufgezeigt, wie eine Welt beschaffen sein könnte, in der die letzten Forderungen eines allgemeinen Relativitätsprinzips erfüllt sind.

Die zuletzt angegebenen Arbeiten Einsteins haben den Anstoß zu mancherlei anderen Untersuchungen kosmologischer Natur gegeben, die aber das ursprüngliche Ziel verschieben. Der Ursprung des Problems lag in der Frage nach der Deutung der Trägheit, die durch die Einführung des Tensors  $g_{ik}$  in die Mechanik formal der Gravitation gleichgesetzt wurde. Während Weyl und Eddington das Tensorfeld der  $g_{ik}$  für die Welt im ganzen als etwas primär Gegebenes auffassen, will Einstein dieses Feld zur Materie des Kosmos in Beziehung setzen. Dies gelingt durch die Einführung des kosmologischen Gliedes  $\lambda$  wenigstens in der Weise, daß nun eine bestimmte Lösung der Gravitationsgleichungen vorhanden ist, bei der Raum und Zeit in ihrer Existenz an die Materie gebunden sind.

<sup>1)</sup> A. Einstein, Die Naturw. 6, 700, 1918.

In der Folgezeit hat man aber von dieser Problemstellung abgesehen und lediglich die Gl. (77) zusammen mit den Bewegungsgleichungen (36) als den Inhalt der Gravitationstheorie betrachtet. Jede mögliche Lösung der Gravitationsgleichungen<sup>1)</sup> würde dann zu einer nach der Gravitationstheorie möglichen Welt führen. Man kommt hierbei zu Welten, bei denen das Universum im großen ebenso wie bei der Gravitationstheorie des § 10 von Materie frei ist, und bei der Raum und Zeit wieder unabhängig von der Materie bestehen.

Vor allem ist eine Lösung hervorzuheben, die W. de Sitter<sup>2)</sup> von der spezielleren Gl. (78) gegeben hat und die zu astronomisch besonders bemerkenswerten Konsequenzen führt. Er gelangt zu einem Linienelement von der Form:

$$ds^2 = a^2 d\chi^2 + a^2 \sin^2 \chi (d\psi^2 + \sin^2 \psi d\varphi^2) - c^2 \cos^2 \chi dt^2 \quad \dots (84)$$

Von der hierdurch festgelegten Struktur des Raum-Zeit-Kontinuums kann man sich am besten ein Bild machen, wenn man in das Zweidimensionale geht, d. h. Raum und Zeit je als eindimensional annimmt und die Art der Fläche im dreidimensionalen euklidischen Raum festlegt. Die „Welt“ der ursprünglichen Gravitationstheorie ist als Ganzes betrachtet eine unendliche Ebene mit einer räumlichen und einer zeitlichen Achse, die sich beide ins Unendliche erstrecken. Vergangenheit und Zukunft gehen in denselben unendlich fernen Horizont über.

Die Einsteinsche räumlich geschlossene Welt führt zu dem Mantel eines geraden Kreiszylinders als Bild der zweidimensionalen Raum-Zeit-Welt. Die Zeit erstreckt sich als Gerade parallel zur Zylinderachse von  $-\infty$  bis  $+\infty$ ; der „Raum“ senkrecht dazu läuft in sich selbst zurück. Die de Sittersche Welt ist entgegen der Einsteinschen zufolge der Gl. (78)

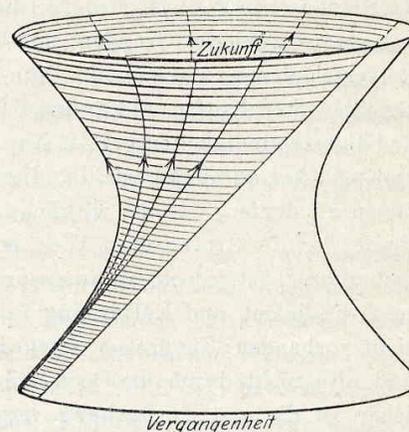
nicht an die Materie gebunden; sie kann als masseloser Raum existieren. Die zweidimensionale Raum-Zeit-Fläche ist hier ein einmanteliges Hyperboloid (vgl. Fig. 139), wobei die Zeit sich auf dessen Mantel wieder von  $-\infty$  bis  $+\infty$  erstreckt. Während der geschlossene Raum Einsteins von einem Lichtstrahl unendlich oft durchlaufen werden kann, hat die de Sittersche Welt in der Entfernung  $\frac{1}{2} \pi a$  einen erst in unendlich langer Zeit erreichbaren Horizont<sup>4)</sup>.

<sup>1)</sup> Die allgemeinste Lösung hat E. Trefftz (Math. Ann. 86, 317, 1922) gegeben.

<sup>2)</sup> Monthly Not. 78, 3, 1917.

<sup>3)</sup> Mit freundl. Erlaubnis des Verlages J. Springer, Berlin, den Naturwissensch. 12, 197 (H. Weyl) entnommen.

<sup>4)</sup> Vgl. hierzu besonders Eddington, sowie Weyl, Die Naturw. 12, 197, 1924.

Fig. 139<sup>3)</sup>.

Raum und Zeit der de Sitterschen „Welt“.

Die eingezeichneten Hyperbeln stellen Weltlinien dar.

W. de Sitter hat aus verschiedenen astronomischen Beobachtungsdaten den minimalen Wert des Krümmungsradius dieses Raumes zu etwa  $10^{11}$  astronomischen Einheiten bestimmt; also auch hier besteht ein Widerspruch der hypothetischen Welt mit den Tatsachen nicht. Am wichtigsten sind gewisse Folgerungen, die sich aus dem Linienelement (84) ergeben. Für eine ruhende Uhr ist:

$$ds = c \cos \chi dt \dots \dots \dots (85)$$

Die von irgend einem Standort aus beobachtete Zeit für einen Vorgang ist proportional  $\sec \chi$ . Da die Entfernung eines Punktes vom Ursprung durch  $a\chi$  gegeben ist, so geht eine Uhr um so langsamer, je weiter sie entfernt ist, bis sie an dem niemals erreichbaren Grenzhorizont zum Stillstand kommt. Auch die Atomschwingungen verlangsamen sich immer mehr. Außerdem aber folgt aus (84), daß ein im masseleeren Raum sich befindendes materielles Teilchen von jedem als Nullpunkt gewählten Standort aus mit einer gewissen Beschleunigung zurückweicht; die vom Beobachter weggerichtete Bewegung von Massen ist um so größer, je weiter die Massen entfernt sind. In der de Sitterschen Welt ist also für die Wellenlängen des Lichtes der Himmelskörper aus zweierlei Gründen eine mit wachsender Entfernung zunehmende Rotverschiebung zu erwarten. Nun zeigen gerade die weit entfernten kugelförmigen Sternhaufen und außergalaktischen Nebel auffallend große positive Radialgeschwindigkeiten (vgl. 8. Kap., § 10, S. 417 und 9. Kap., § 12, S. 485), und man hat anfangs geglaubt, diese Erscheinung als Anzeichen dafür auffassen zu dürfen, daß die wirkliche Welt wenigstens bis zu einem gewissen Grade der de Sitterschen Welt entspricht<sup>1)</sup>. Nach den neueren Untersuchungen<sup>2)</sup> ist jedoch ein ausgesprochener Zusammenhang zwischen Radialgeschwindigkeit und Entfernung in dem von der Theorie geforderten Sinne nicht vorhanden; die großen Geschwindigkeiten der entfernten Himmelskörper sind also nicht durch die Geometrie der „Welt“ bedingt. Viel wahrscheinlicher ist die von Strömberg vertretene Auffassung, daß die nähere Umgebung der Sterne zu dem System der Sternhaufen und außergalaktischen Nebel eine große Geschwindigkeit nach einer Richtung hin besitzt.

Wieweit alle die hierher gehörenden Untersuchungen, die an die erweiterten Gravitationsgleichungen von Einstein anknüpfen, uns Aufschluß über den Aufbau des Kosmos zu geben vermögen, ist eine völlig offene Frage. Wir müssen sie gegenwärtig als erste Versuche auffassen, das Universum als Ganzes mechanisch auszudeuten.

**§ 12. Die Weiterentwicklung der Relativitätstheorie.** Durch das Äquivalenzprinzip wurde die Grundlage für eine neue Mechanik geschaffen, wobei die Koeffizienten des Linienelements  $ds$  das Gravitationsfeld charakterisieren. Der weitere Aufbau der allgemeinen Relativitätstheorie beruht dann auf einer Übertragung der Differentialgeometrie Riemanns, und die dieser

<sup>1)</sup> C. Wirtz, *Astron. Nachr.* **222**, 21, 1924.

<sup>2)</sup> K. Lundmark, *Monthly Not.* **84**, 747, 1924 und G. Strömberg, *Astrophys. Journ.* **61**, 353, 1925.

Fig. 68. Seite 5 des § 11 des Lehrbuchartikels von Kopff (1928)

#### 4.6.1 Besprechungen des von Kopff herausgegebenen Bandes „Physik des Kosmos“ des Lehrbuchs

Die hier aufgelisteten Besprechungen sind nur eine Auswahl. Insbesondere haben wir oft auf Rezensionen verzichtet, die den Band V, Teil 2, zusammen mit mehreren anderen Bänden des Lehrbuchs besprechen.

##### (1) Besprechung in der Zeitschrift

„The Astrophysical Journal“, Vol. 67 (1928), S. 277.

Autor der Besprechung ist Otto Struve (1897-1963), damals Direktor des Yerkes Observatoriums der Universität Chicago. Struve beschreibt die Struktur des Bandes und den Inhalt der einzelnen Beiträge. Besonders lobt er den Beitrag von Kopff über das Sternsystem (d.h. die Milchstraße): „It is an excellent exposition of our present view on this subject, and astronomers will enjoy reading it, not less than physicists.“. Der Artikel von Kopff zur Relativitätstheorie wird dagegen nur kurz erwähnt.

##### (2) Besprechung in der Zeitschrift

„Nature“, Vol. 121 (1928), S. 824.

Autor der Besprechung ist F. J. M. Stratton (1881-1960). Er war Professor für Astrophysik an der Universität Cambridge. Er lobt das Buch als einen „interesting up-to-date account of astrophysics“ und als „work of a high standard of accuracy“. Bemängelt wird allerdings der große Umfang von stellarstatistischen Ausführungen, die für einen Physiker weniger wichtig seien.

##### (3) Besprechung in der Zeitschrift

„Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft“,  
63. Jahrgang (1928), S. 60

Autor der Besprechung ist Hans Ludendorff (1873-1941). Er war damals Direktor des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam und einer der Schriftführer der Astronomischen Gesellschaft. Ludendorff schreibt, daß mit diesem Band „eine außerordentlich erfreuliche Leistung“ vorliegt. Der Inhalt der Artikel sei von hoher Qualität und auf dem neuesten Stand. Den Abschnitt über Veränderliche Sterne (Ludendorffs Spezialgebiet) hält er aber für viel zu kurz. Er lobt die Ausstattung, insbesondere die guten Abbildungen. Bei einer Auflistung des Inhalts des Bandes empfindet er die Aufnahme der Relativitätstheorie in diesen Band als doch etwas überraschend.

(4) Besprechung in der Zeitschrift

„Die Himmelswelt“. 39. Jahrgang (1929), S. 67

Die Besprechung ist nur mit „O. H.“ unterzeichnet. Autor der Rezension ist mit hoher Wahrscheinlichkeit Otto Heckmann (1901-1983), damals Assistent an der Universitätssternwarte Göttingen. Der Inhalt des Buches wird ausführlich besprochen. Der Rezensent macht zu jedem Kapitel Anmerkungen, meist positive, zum Teil aber auch kritische. Das Schlußkapitel über die Relativitätstheorie hätte er lieber in einem anderen Band des Lehrbuchs gesehen, lobt den Inhalt aber als „eine elementare und zuverlässige Einführung in ein schon fast klassisch gewordenes Gebiet der Physik.“. Über den gesamten Band urteilt er: „... es ist keine geringe Leistung des Herausgebers und der Mitarbeiter, die es verstanden haben[,] auf so engen Raum eine ungeheure Fülle von Material zusammenzudrängen bei möglichster Wahrung der Gründlichkeit in der Darstellung aller wesentlichen Ideen, Methoden und Resultate.“.

(5) Besprechung in der Zeitschrift

„Das Weltall“. 27. Jahrgang (1928), S. 159

Die Besprechung ist nur mit „G. A.“ unterzeichnet. Autor der Rezension ist mit höchster Wahrscheinlichkeit Günther Archenhold (1904-1999), damals Mitarbeiter der Sternwarte in Berlin-Treptow. Er beschreibt den Inhalt des Werks und endet: „Der neue Teil des Müller-Pouillet ist als ein wertvoller Zuwachs des wissenschaftlichen astronomischen Schrifttums anzusehen und wird sowohl von Physikern wie von Astronomen voll gewürdigt werden.“.

(6) Besprechung in der Zeitschrift

„Die Naturwissenschaften“, Band 17 (1929), S. 547

Autor der Besprechung ist der Physiker und Herausgeber der Zeitschrift „Die Naturwissenschaften“, Arnold Berliner (1862-1942). Er bespricht beide Halbbände zusammen, beurteilt sie positiv, und schreibt weiter: „Ganz besondere Erwähnung verdient die Darstellung der Relativitätstheorie durch den Herausgeber selbst [*d.h. durch Kopff*]. ... die Darstellung [*der Relativitätstheorie*] ist ... übersichtlich und verständlich.“. Der Rezensent wundert sich allerdings, daß die Relativitätstheorie gerade in diesem Band (Physik des Kosmos) behandelt wird.

(7) Besprechung in der

„Zeitschrift für Instrumentenkunde“, 48. Jahrgang (1928), S. 358

Die Besprechung ist mit „W. Keil“ unterzeichnet. Autor der Rezension ist mit hoher Wahrscheinlichkeit Wilhelm Keil (1891-1976). Er hatte 1918 in München in Astronomie über „Die Bewegung der Sterne von der 10. Größe“

promoviert. 1928 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin. Später leitete er die Redaktion der Zeitschrift für Instrumentenkunde. Keil schreibt, daß das vorliegende Buch mit voller Berechtigung die Bezeichnung „Standardwerk“ beanspruchen kann. Keil gibt eine sehr ausführliche Beschreibung des Inhalts des Werks. Besonders lobt er Kapitel 9: „Eine überragende Leistung stellt der ... Beitrag „Das Sternsystem“ dar. A. Kopff hat es mit Erfolg unternommen, die Fülle der Einzelkenntnisse organisch zusammenzufügen und ein zeitgemäßes physikalisches Bild vom Fixsternsystem zu entwerfen.“. Kopffs Kapitel über die Relativitätstheorie beurteilt er als „eine, wenn auch knappe, aber sehr systematische Darstellung“.

(8) Besprechung in der Zeitschrift

„Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie“,  
56. Jahrgang (1928), S. 203

Autor der Besprechung ist der Physiker und Meteorologe Christian Jensen (1867-1942). Er hatte 1898 in Kiel mit Beiträgen zur Photometrie des Himmels promoviert und wurde später außerordentlicher Professor der Kosmischen Physik an der Universität Hamburg. Jensen schreibt: „In eingehendster Weise kann sich der physikalisch interessierte Leser im vorliegenden ... Werk über die gewaltigen, staunenerregenden Umwälzungen informieren, welche die Astronomie in einem Zeitraum von etwa 1 bis 2 Dezennien durchmachte.“. Die „Herren Meteorologen“ weist er auf einige für die Meteorologie besonders wichtige Abschnitte hin.

(9) Besprechung in der

„Zeitschrift für technische Physik“, Band 9 (1928), S. 501

Autor der Besprechung ist der Geophysiker Gustav Angenheister (1878-1945). Nach einer ausführlichen Besprechung des Inhalts des Buches lobt er „die sehr übersichtliche und klare Struktur des Werkes“, die dem Physiker einen gründlichen Einblick in den augenblicklichen Stand der Forschungsmethoden und Ergebnisse der kosmischen Physik ermöglicht.

(10) Besprechung in der Zeitschrift

„Gerlands Beiträge zur Geophysik“. Band 20 (1928), S. 208

Autor der Besprechung ist der Astronom und Geodät Karl Mader (1890-1965). Er begrüßt, daß wegen der Bedeutung und des Umfangs der modernen Astrophysik diesem Gebiet ein eigener Teilband im Rahmen der Neuauflage des Lehrbuchs von Müller-Pouillet eingerichtet wurde. Den Band selbst lobt

er: „Die Fülle des Gebotenen ist erstaunlich, daher wird der Stil in den einzelnen Abhandlungen oft knapp, was aber nie die Klarheit der Darstellung beeinträchtigt.“.

(11) Besprechung in der  
„Zeitschrift für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht“,  
60. Jahrgang (1929), S. 420

Autor der Besprechung ist Wilhelm Hillers (1876-1951), Physiker und Oberstudienrat in Hamburg. Er lobt das Werk und schreibt, daß der Band es verdient, in die Handbibliotheken der Schulen eingereiht zu werden, damit Schülern der Oberklassen die neuen Ergebnisse und Anschauungen der Astronomie zugänglich werden.

(12) Besprechung in der  
„Zeitschrift für den Physikalischen und Chemischen Unterricht“,  
42. Jahrgang (1929), S. 87

Autor der Besprechung ist der Mineraloge und Physiker Alfred Wenzel (1892-?), der im Schuldienst in Brandenburg an der Havel tätig war. Er gibt eine ausführliche Beschreibung des Werkes und findet, daß das Lehrbuch von Müller-Pouillet durch diesen Band um ein wesentliches Teilgebiet der modernen Physik bereichert wird. Das letzte Kapitel über die Relativitätstheorie lobt er besonders, denn es sei flüssig und klar geschrieben und erfülle seinen Zweck vollauf. Er empfiehlt den Band, der in keiner Bibliothek fehlen dürfe, jedem Physiker zur Lektüre.

## 4.7 Kopffs sonstige Arbeiten zur Relativitätstheorie

### 4.7.1 Kopff 1920a: Die Einsteinsche Relativitätstheorie

Broschüre: „Die Einsteinsche Relativitätstheorie“. Verlag der Leipziger Lehrerzeitung in Kommission bei Greßner und Schramm, Leipzig. 1920. 24 Seiten.

Die Broschüre gibt einen Vortrag wieder, den Kopff am 11. Juni 1920 im Naturhistorisch-Medizinischen Verein zu Heidelberg gehalten hat. Dieser Verein war 1856 gegründet worden und spielte im Geistesleben von Heidelberg eine wichtige Rolle. Zum Beispiel hat Hermann von Helmholtz dort 32 Vorträge gehalten.

Kopff gibt in diesem Werk „in möglichster Kürze“ die Hauptgedanken der Relativitätstheorie wieder, wobei er auf eine mathematische Beschreibung völlig verzichtet. Er versucht zugleich, „den Anschein zu vermeiden, als sei die Relativitätstheorie etwas völlig Fertiges“. Sie sei „im Werden begriffen“ und bedürfe „vielfacher Klärung nach Tiefe und Breite“. Kopff behandelt auch die Grundzüge der Allgemeinen Relativitätstheorie und geht kurz auf deren kosmologische Anwendung ein. Am Ende der Broschüre empfiehlt er eine Reihe von einführenden Werken und bemerkt dann: „Ein tieferes Eindringen in die Relativitätstheorie ist allerdings nur auf dem Weg der höheren Mathematik möglich, wofür in erster Linie das nicht leichte Buch von H. Weyl [*Weyl 1918*] ... in Frage kommt.“ Das von Kopff selbst so intensiv studierte Buch von Max von Laue (1913) bzw. dessen Neuauflage von 1919 erwähnt er dagegen nicht, vielleicht weil von Laue die Allgemeine Relativitätstheorie dort (noch) nicht behandelt.

*Besprechungen der Broschüre:*

(a) In der Zeitschrift „Literarisches Beiblatt zu den Astronomischen Nachrichten“, 5. Heft, Nr. 51 (1917-1924), S. 103, wird die Broschüre durch den Herausgeber der Zeitschrift „Astronomische Nachrichten“, Hermann Kobold (1858-1942), besprochen. Die Rezension ist 1921 erschienen. Kopff versuche, den Leser ohne mathematische Entwicklungen mit dem Sinn und der Bedeutung der Relativitätstheorie bekannt zu machen. Kobold lobt, daß Kopff nicht nur die großen Vorzüge der Relativitätstheorie gegenüber der Newtonschen Lehre hervorhebt, sondern auch „die Grenzen unserer Erkenntnis und die noch ungeklärten Fragen gebührend betont“.

(b) In der Zeitschrift „Literarisches Zentralblatt für Deutschland“, Band 72 (1921), S. 352, wird die Broschüre von Kopff als Nummer 8 einer gemeinsamen Besprechung von 11 Schriften zur Relativitätstheorie rezensiert (siehe auch Kapitel 4.4.7, Punkt (1d)). Autor der Besprechung von Kopffs Werk ist der Mineraloge und Physiker Alfred Wenzel (1892-?), der im Schuldienst in

Brandenburg an der Havel tätig war. Er lobt die Broschüre als schlicht und kurz, wodurch sie bessere Dienste täte als manch andere populäre Darstellung.

(c) In der „Physikalischen Zeitschrift“, 23. Jahrgang (1922), S. 31, beurteilt der Physiker und Quantenchemiker Erich Hückel (1896-1980) diese Broschüre sehr positiv. Sie stelle „den wohl gelungenen Versuch dar, dem gebildeten Laien ohne Anwendung mathematischer Formeln einen Begriff von ... der Einsteinschen Theorie zu geben“.

#### 4.7.2 Kopff 1921b: Das Rotationsproblem in der Relativitätstheorie

Zeitschriftenartikel: „Das Rotationsproblem in der Relativitätstheorie“. Die Naturwissenschaften, 9. Jahrgang (1921), Seite 9-15.

Dieser Übersichtsartikel behandelt die Frage, ob man auch die Rotation eines Körpers als eine Relativbewegung auffassen kann, wie das für die Translationsbewegung der Fall ist. Nach dem sogenannten Machschen Prinzip sollten die in einem rotierenden Koordinatensystem auftretenden Zentrifugal- und Corioliskräfte nur durch die Gravitationswirkung ferner Massen im Universum hervorgerufen werden. Für Einstein war diese Vorstellung mit einer Motivation zur Aufstellung der *Allgemeinen* Relativitätstheorie (z.B. Einstein 1916, § 2). Kopff versucht in seinem Artikel diese Auffassung zu unterstützen. Er zitiert die Arbeit von Thirring (1918), die einen Einfluß der Rotation eines Körpers auf die Metrik der Raum-Zeit nachweist. Der Effekt löst aber nicht das Rotationsproblem. Für die Lösung des Rotationsproblems hält Kopff die kosmologischen Überlegungen Einsteins mit der Einführung der Kosmologischen Konstanten  $\lambda$ . Im stationären Einstein-Universum mit positiver Raumkrümmung und endlichem Volumen (Einstein 1917) sind spezielle Randbedingungen unnötig. Nach Kopff würde die in diesem Universum gleichmäßig verteilte Materie allein die auftretenden Zentrifugal- und Corioliskräfte bewirken. Er verweist hierzu auf seine im Erscheinen begriffene Arbeit (Kopff 1921c, folgendes Kapitel 4.7.3) und erklärt: „Die Zentrifugalkräfte haben [*im Einstein-Universum*] ihren Charakter als „scheinbare“ Kräfte völlig eingebüßt; sie sind den Gravitationskräften untergeordnet worden.“. Weil das Einstein-Universum in Kopffs Augen das Rotationsproblem löst, meint er: „Wir müssen heute die Endlichkeit der Welt (im Sinne der Riemannschen Geometrie) als eine *Vorhersage* der [*Allgemeinen*] Relativitätstheorie betrachten.“.

Wir wissen heute, daß sich Kopff bezüglich des Rotationsproblems irrte. Die Rotation eines Körpers gegenüber dem ihn umgebenden metrischen Feld, charakterisiert durch den Tensor  $g_{\mu\nu}$  der Metrik der vierdimensionalen Raum-Zeit, ist durchaus beobachtbar. Und die Metrik ihrerseits wird zwar durch die Massen gemäß den Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie

beeinflusst, aber keineswegs *allein* verursacht<sup>62</sup>. Als erster hat dies de Sitter (1916a, 1917) erkannt. Im leeren de-Sitter-Kosmos mit Kosmologischer Konstante  $\lambda$  treten durchaus Zentrifugalkräfte auf. Das gilt auch für entsprechende Friedmann-Universen mit und ohne  $\lambda$ . Kopff zitiert die Arbeit von de Sitter (1917) zwar, meint aber (ohne nähere Begründung), daß diese „zu physikalisch gänzlich unbefriedigenden Ergebnissen führt“. Kopff liegt damit voll auf der Linie von Einstein, der den Resultaten von de Sitter ebenfalls mißtraute (z.B. Einstein 1918c). De Sitter (1917) zitiert aus einem Brief Einsteins an ihn: „Es wäre nach meiner Meinung unbefriedigend, wenn es eine denkbare Welt ohne Materie gäbe. Das  $g_{\mu\nu}$ -Feld soll vielmehr *durch die Materie bedingt sein, ohne dieselbe nicht bestehen können*. Das ist der Kern dessen, was ich unter der Forderung von der Relativität der Trägheit verstehe.“<sup>63</sup>. Wir wissen heute, daß das Machsche Prinzip<sup>64</sup> nicht generell aus den Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie herleitbar ist und daß de Sitters Aussage von 1916 korrekt ist: „... we cannot transform away rotation, no more than mass.“.

#### 4.7.3 Kopff 1921c: Bemerkung zur Rotationsbewegung im Gravitationsfeld der Sterne

Zeitschriftenartikel: „Bemerkung zur Rotationsbewegung im Gravitationsfeld der Sterne“. *Physikalische Zeitschrift*, 22. Jahrgang (1921), Seite 24 und 179-180.

Der Artikel besteht aus zwei Teilen: Teil I auf der Seite 24 und Teil II auf den Seiten 179 bis 180. Kopff betrachtet ein stationäres Einstein-Universum (Einstein 1917a) und untersucht im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie die Kräfte, die in einem Koordinatensystem auftreten, das relativ zu der im Mittel ruhenden und gleichmäßig verteilten Materie rotiert. In erster Näherung findet er, daß im rotierenden Koordinatensystem die aus der klassischen Mechanik bekannten Zentrifugal- und Coriolis-Kräfte auftreten. Die beiden Teile des Artikels unterscheiden sich dadurch, daß zwei verschiedene Rechenmethoden zur Ableitung des gleichen Resultats benutzt werden.

Der Artikel von Kopff wird von Rosenberger (2002) ausführlich in seinem Kapitel 4.1.3 („August Kopff oder die Rotation mit  $\lambda$ -Glied“) besprochen. Dabei unterläuft Rosenberger allerdings eine Ungenauigkeit. Er behauptet,

---

<sup>62</sup>Für moderne Darstellungen des Problems der Rotation verweisen wir z.B. auf Rosenberger (2002) und Janssen (2005). Rosenberger schreibt in seinem Vorwort, daß der hier besprochene Artikel von Kopff (1921b) unter anderem als Anregung für das Thema seiner Diplomarbeit gedient habe.

<sup>63</sup>Die Diskussion zwischen Einstein und de Sitter ist ausführlich wiedergegeben und kommentiert in Röhle (2002)

<sup>64</sup>Zum Machschen Prinzip siehe z.B. den Sammelband von Barbour und Pfister (1995)

Kopff hätte in seiner Arbeit als Erweiterung der Thirring'schen Untersuchungen „das Problem der rotierenden Hohlkugel auf der Grundlage der mit dem  $\lambda$ -Glieder erweiterten Feldgleichungen“ berechnet. Kopff hat aber keine Hohlkugel betrachtet. Er hat vielmehr „nur“ die Bewegung eines Probeteilchens in einem rotierenden Koordinatensystem berechnet, das in die Metrik des stationären Einstein-Kosmos (mit Kosmologischer Konstante  $\lambda$ ) eingebettet ist. Kopff hat in seinem Übersichtsartikel (1921b) in einer Fußnote (Nr. 2 auf S. 12) auch kurz auf seine vorliegende, demnächst erscheinende Arbeit (1921c) hingewiesen. Insgesamt finden wir es aber erfreulich, daß Rosenberger (2002) die Arbeiten von Kopff (1921b, 1921c) gewürdigt hat.

#### **4.7.4 Kopff 1921d: Über den Einfluß von Sonne und Mond auf das Zentrifugalfeld der Erde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie**

Zeitschriftenartikel: „Über den Einfluß von Sonne und Mond auf das Zentrifugalfeld der Erde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie“. Physikalische Zeitschrift, 22. Jahrgang (1921), Seite 309-310.

In der oben zitierten Arbeit (Kapitel 4.7.3, Kopff 1921c) hat Kopff die Zentrifugalkraft in einem rotierenden Koordinatensystem im Rahmen des stationären Einstein-Universums untersucht. Er erweitert jetzt seine Rechnungen durch die Berücksichtigung der Effekte von Sonne und Mond auf die Zentrifugalkraft auf der rotierenden Erde. Dazu löst er die Einsteinschen Feldgleichungen näherungsweise und leitet so zusätzliche Terme  $\Delta g$  zur Erdbeschleunigung  $g$  ab, die aus der Allgemeinen Relativitätstheorie folgen. Die resultierenden Beträge von  $\Delta g$ ,  $-7 \cdot 10^{-9} \text{ cm/s}^2$  für die Sonne und  $-1 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s}^2$  für den Mond, sind allerdings sehr klein im Vergleich zu  $g$  von  $9,8 \cdot 10^2 \text{ cm/s}^2$ .

#### **4.7.5 Kopff 1921e: Zur Frage der Verschiebung der scheinbaren Fixsternörter in Sonnennähe**

Zeitschriftenartikel: „Zur Frage der Verschiebung der scheinbaren Fixsternörter in Sonnennähe“. Physikalische Zeitschrift, 22. Jahrgang (1921), Seite 495-496.

Kopff zeigt, daß das Resultat der Arbeit von E. Lihotzky („Zur Frage der Verschiebung der scheinbaren Fixsternörter in Sonnennähe“. Physikalische Zeitschrift, 22. Jahrgang (1921), S. 69) unrichtig ist. Lihotzky hatte behauptet, daß die Allgemeine Relativitätstheorie Einsteins für die Lichtablenkung an der Sonne denselben Wert vorhersage wie die ballistische Berechnung im Rahmen der Newtonschen Gravitationstheorie (z.B. Soldner 1801). Im Resultat von

Lihotzky, das dieser mit Hilfe der Allgemeinen Relativitätstheorie herleitet, fehlt aber durch ein Mißverständnis ein Faktor 2.

#### 4.7.6 Kopff 1922a:

1. Teil: **Über eine Möglichkeit der Prüfung des speziellen Relativitätsprinzips auf astronomischem Wege**
2. Teil: **Über die astronomische Aberration in der Relativitätstheorie (Berichtigung [zum 1. Teil]).**

Zeitschriftenartikel:

1. Teil: „Über eine Möglichkeit der Prüfung des speziellen Relativitätsprinzips auf astronomischem Wege“. Physikalische Zeitschrift, 23. Jahrgang (1922), Seite 120-121.
2. Teil: „Über die astronomische Aberration in der Relativitätstheorie (Berichtigung [zum 1. Teil])“. Physikalische Zeitschrift, 23. Jahrgang (1922), Seite 255-256.

Im ersten Teil der Arbeit (Seite 120-121) glaubt Kopff einen Effekt gefunden zu haben, der die Spezielle Relativitätstheorie aufgrund astronomischer Beobachtungen bestätigen könnte. Er betrifft die Aberration. Kopff nimmt irrtümlicherweise an, daß die Geschwindigkeit  $v$ , die in die relativistische Formel für die Aberration eingeht, die Relativgeschwindigkeit zwischen Beobachter und Lichtquelle sei. In diesem Falle der sogenannten „aktiven Aberration“ müßte sich durch die Aberration (bei Berücksichtigung der Glieder zweiter Ordnung in  $v/c$ ) eine Verschiebung zwischen den scheinbaren Örtern von bestimmten Spiralnebeln (mit  $v$  in der Größenordnung von 1000 km/s gemäß Radialgeschwindigkeitsmessungen) und benachbarten Sternen (mit viel kleinerem  $v$ ) ergeben. In seinem Beispiel würde die differentielle Verschiebung aufgrund unterschiedlicher Aberration bis zu 0,07 Bogensekunden betragen, was nach Kopffs Meinung nachweisbar sein sollte.

Nach Erscheinen des ersten Teils der Kopffschen Arbeit hat Max von Laue Kopff darauf hingewiesen, daß Kopffs Ergebnis unzutreffend ist. Denn in die relativistische Formel für die Aberration geht als  $v$  nicht die Relativgeschwindigkeit zwischen Beobachter und Lichtquelle ein, sondern mit  $v$  ist dort die Relativgeschwindigkeit zwischen zwei Beobachtern gemeint (für die jährliche Aberration wegen des Umlaufs der Erde um die Sonne also  $v = 30$  km/s).

Im zweiten Teil seiner Arbeit (Seite 255-256) erkennt Kopff die Kritik von Laues als berechtigt an. Kopff weist aber darauf hin, daß der von ihm besprochene Effekt immerhin eine Entscheidung zwischen der alten Äthertheorie und der Speziellen Relativitätstheorie erlaubt: Nach der Relativitätstheorie ist die Aberration unabhängig von der Bewegung der Lichtquelle; in der alten Äthertheorie tritt dagegen in den Gleichungen für die Aberration der soge-

nannte Villarceausche Faktor<sup>65</sup> auf, der von der Geschwindigkeit der Lichtquelle relativ zur Sonne abhängt.

Wie konnte Kopff diese Fehlinterpretation von  $v$  unterlaufen, wo er sich doch schon mehrere Jahre intensiv mit der Relativitätstheorie beschäftigt hatte? Kopff schreibt auf Seite 255: „Dieser Umstand [*nämlich die korrekte Interpretation von  $v$* ] ist bei den bisherigen Darstellungen der relativistischen Aberrationstheorie meist nicht genügend hervorgehoben worden.“. Dies ist für viele Werke zur Relativitätstheorie durchaus zutreffend (siehe dazu z.B. die geschichtlichen Ausführungen von Liebscher und Brosche (1998)). Selbst in neuerer Zeit wurde die Bedeutung von  $v$  noch fehlinterpretiert (Treders 1985). Wegen des Fehlers in Treders Arbeit sind auch die darauf aufbauende Arbeiten von Ruben (1987, 1991) zur Bestimmung der Rotation des Kosmos aus der Aberration von Quasaren nicht korrekt.

Die vorliegende Arbeit von Kopff weist uns auf einen merkwürdigen Umstand hin: In seinem Buch zur Relativitätstheorie (Kopff 1921a, 1923a) behandelt Kopff nirgends die Aberration näher, obwohl die Relativitätstheorie als erste die korrekte Beschreibung der Aberration ermöglicht hat. Ebenso fehlt in Kopffs Buch auch die Behandlung des Dopplereffekts im Rahmen der Speziellen Relativitätstheorie. Kopff schreibt nur am Ende von §9 (Seite 95 in beiden Auflagen): „Erscheinungen wie z.B. die Aberration oder Dopplersches Prinzip ergeben sich ohne weiteres aus dem speziellen Relativitätsprinzip.“. Warum beide Effekte, die doch gerade für Astronomen wichtig sind, im Buch fehlen, wissen wir nicht. Den ersten Teil seiner Arbeit hat Kopff im Dezember 1921 bei der Zeitschrift eingereicht, also nach Erscheinen der ersten Auflage seines Buches. Wann er die Mitteilung von Laues erhalten hat, ist nicht bekannt. Den zweiten Teil der Arbeit hat Kopff offenbar Anfang Mai 1922 niedergeschrieben. Er ist am 17. Mai 1922 bei der Zeitschrift eingegangen. Da Kopff bereits Mitte Juni 1922 seine Reise zur Sonnenfinsternis-Expedition zur Weihnachtsinsel (siehe Kapitel 4.5.3) antrat, hatte er wohl keine Zeit mehr, die zweite Auflage seines Buches entsprechend zu ergänzen und dabei auch den Hinweis von Laues einzubauen.

In seinem Privatexemplar der zweiten Auflage seines Buches hat Kopff mit Bleistift eine Randnotiz neben dem oben zitierten Satz auf Seite 95 angebracht: „Aber[ation] fehlerfrei darstellen“. Das war ein Hinweis für eine eventuelle dritte Auflage seines Buches (siehe Kapitel 4.4.9 und 8.4). Eine solche dritte Auflage kam aber nicht zustande.

Erst in seinem Lehrbuchartikel von 1928 hat Kopff auch die Aberration und den Dopplereffekt im Rahmen der Speziellen Relativitätstheorie dargestellt (Kopff 1928, S. 548-550). Auf Seite 549 schreibt Kopff dann auch deutlich:

---

<sup>65</sup>Benannt nach dem französischen Astronom Yvon Villarceau (1813-1883), der ihn 1872 in die Theorie der Aberration eingeführt hatte

der Aberrationseffekt „hat mit der Geschwindigkeit der Lichtquelle nichts zu tun.“.

Übrigens konnte der Astrometrie-Satellit HIPPARCOS der ESA, an dessen Mission das Astronomische Rechen-Institut maßgeblich beteiligt war, im Rahmen seiner Meßgenauigkeit von ungefähr einer Millibogensekunde ausschließen, daß die Geschwindigkeiten der Sterne einen Einfluß auf die Aberration haben. Umgekehrt wäre es für HIPPARCOS und insbesondere für die in Vorbereitung befindliche GAIA-Mission schwierig, wenn die Aberration doch von der Geschwindigkeit der Sterne abhängen würde. Denn für manche der beobachteten Sterne gibt es keine hinreichend genauen Raumgeschwindigkeiten, um in diesem Fall die Korrektur wegen der Aberration theoretisch mit der erforderlichen Genauigkeit zu bestimmen. Man müßte dann für diese Sterne die jährliche Aberration empirisch aus den Satellitendaten selbst bestimmen, was die Genauigkeit ihrer anderen astrometrischen Parameter, besonders die der jährlichen Parallaxe, beeinträchtigen würde.

#### **4.7.7 Kopff 1924a: Zur Weiterentwicklung der Weltgeometrie (Relativitätstheorie)**

Festschrift-Beitrag: „Zur Weiterentwicklung der Weltgeometrie (Relativitätstheorie)“. In: Probleme der Astronomie. Festschrift für Hugo von Seeliger, dem Forscher und Lehrer zum 75. Geburtstage. Redaktion: H. Kienle. Julius Springer, Berlin, 1924. Seite 240-246.

In seinem Beitrag zu dieser Festschrift gibt Kopff einen kurzen Überblick über die Bestrebungen, die Elektrodynamik vollständig in die Allgemeine Relativitätstheorie zu integrieren und damit die „Weltgeometrie weiterzuentwickeln“. Kopff bespricht dabei die Arbeiten von Weyl und vor allem von Eddington. Eddingtons Ziel ist es, den Tensor des Gravitationsfeldes und den Tensor des elektromagnetischen Feldes auf einen gemeinsamen Tensor zurückzuführen. Einstein hat dann mit Hilfe des Hamiltonschen Prinzips gezeigt, daß die Elektrodynamik und die Gravitationstheorie der Allgemeinen Relativitätstheorie in Eddingtons „Weltgeometrie“ enthalten sind. Kopff sieht darin einen wichtigen Fortschritt. Einstein hat dies realistischer gesehen. In seinem Anhang zur deutschen Fassung des Werks von Eddington (1925) schreibt Einstein: „Für mich besteht das Endergebnis dieser Betrachtungen leider in dem Eindruck, daß uns die Weyl-Eddingtonsche Vertiefung der geometrischen Grundlagen keinen Fortschritt der physikalischen Erkenntnis zu bringen vermag; hoffentlich wird die künftige Entwicklung zeigen, daß diese pessimistische Meinung unberechtigt gewesen ist.“. Sie war aber berechtigt.

#### 4.7.8 Kopff 1924b: Courvoisier-Effekt und Einstein-Effekt

Zeitschriftenartikel: „Courvoisier-Effekt und Einstein-Effekt“. Physikalische Zeitschrift, 25. Jahrgang (1924), Seite 95-96.

Zur Terminologie und zur allgemeinen Beschreibung von „Courvoisier-Effekt“ und „Einstein-Effekt“ siehe unser Kapitel 4.5.5. Kopff will in seiner Arbeit den Artikel von Kienle (1924b) zur „Kosmischen Refraktion“, der in derselben Zeitschrift erschienen war, ergänzen. Kopff weist darauf hin, daß die Beobachtungen des Courvoisier-Effekts nur bis ca. 3 Grad an die Sonne heranreichen. Bei kürzeren Entfernungen von der Sonne handele es sich um sehr unsichere Extrapolationen. Von einer Bestätigung des Courvoisier-Effekts durch Aufnahmen bei Sonnenfinsternissen „kann gar keine Rede sein“. Kopff hält es für möglich, daß Einstein- und Courvoisier-Effekt „durch ganz verschiedene Ursachen hervorgerufen werden“. Nach Kopff spricht alles dafür, „daß der Courvoisier-Effekt durch systematische Fehler der visuellen [*Meridiankreis-*]Beobachtungen entstanden ist, in deren besonderer Art und Anlage er begründet liegt“.

Kopffs Schlußfolgerung stimmt also mit der von Kienle (1924b) überein, der die Beobachtungen, die dem Courvoisier-Effekt zugrunde liegen, ausführlich diskutiert und abschließend schreibt: „Der Courvoisier-Effekt ist ein durch die Art der Beobachtung (absolute Rektaszensions- bzw. Deklinationsbestimmungen) bedingter systematischer Fehler.“

#### 4.7.9 Kopff 1924c: La déviation des rayons lumineux au voisinage du Soleil et la théorie de la relativité

Zeitschriftenartikel: „La déviation des rayons lumineux au voisinage du Soleil et la théorie de la relativité“, Scientia, Vol. 35 (1924), Seite 397-406.

Bei der Zeitschrift „Scientia“ handelte es sich um eine internationale Zeitschrift, die in Italien in der Zeit von 1907 bis 1988 herausgegeben wurde. Sie trug den Untertitel „Rivista di Scienza. Organo internazionale di sintesi scientifica.“. Der zweite Teil des Untertitels wurde auf dem Titelblatt in Französisch, Deutsch („Internationale Zeitschrift für wissenschaftliche Synthese“) und Englisch wiederholt. Die Artikel aus den unterschiedlichsten Wissenschaftsbereichen waren auch in diesen Sprachen geschrieben. Allerdings wurde während des Ersten Weltkriegs und bis 1925 Deutsch nicht verwendet. Da Kopffs Artikel 1924 in diesen Zeitraum fiel, hat er seinen Beitrag offenbar zwar auf Deutsch verfaßt, das Manuskript wurde dann aber von M. E. Philippi aus Paris ins Französische übertragen.

In seinem Artikel gibt Kopff einen Überblick über die Möglichkeiten der experimentellen Bestätigung der Allgemeinen Relativitätstheorie. Neben der Periheldrehung des Merkur und der Gravitationsrotverschiebung diskutiert er besonders die Messungen zur Lichtablenkung an der Sonne. Die Ergebnisse der Beobachtungen der Lick-Expedition bei der Sonnenfinsternis vom 21. September 1922 werden im Detail vorgestellt. Kopff diskutiert aber auch ausführlich die von Courvoisier vorgeschlagene „Jährliche Aberration“. Er hält diesen „Courvoisier-Effekt“ für einen systematischen Fehler in den Meridiankreisbeobachtungen am Tageshimmel. Dagegen seien die Finsternis-Beobachtungen in sehr guter Übereinstimmung mit den Vorhersagen der Relativitätstheorie.

#### 4.7.10 Kopff 1925: Die Relativitätstheorie in der Schule

Zeitschriftenartikel: „Die Relativitätstheorie in der Schule“. Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften, Band 31 (1925), Seite 27-28.

Kopff plädiert in dieser Abhandlung dafür, die Grundideen der Relativitätstheorie in der Oberstufe der Gymnasien zu besprechen. Zwar müsse die euklidische Geometrie und die klassische Physik die feste Grundlage des Schulunterrichts bilden. „Aber man sollte einem Oberprimaner, der in kurzer Zeit auf der Universität von neuer Physik und nichteuklidischer Geometrie hört, nicht die Existenz der hier [*d.h. in der klassischen Physik*] auftretenden Probleme vorenthalten.“. Kopff skizziert dann die wesentlichen Neuerungen, die man im Schulunterricht ansprechen müßte (z.B. in der Allgemeinen Relativitätstheorie den Unterschied zwischen Gravitation und anderen Kräften, die Trägheit und das Führungsfeld). Allerdings sollten die Lehrenden selbst sich etwas tiefer mit den Problemen beschäftigen. Er empfiehlt dazu vor allem die Bücher von Thirring [1922a] und Born [1922]. Für ein noch weiteres Eindringen sei eine Beschäftigung mit der mathematischen Seite der Relativitätstheorie nicht zu umgehen. Kopff nennt hier die Werke von Neumann [1922] und von sich selbst [Kopff 1923a].

Vermutlich hat sich Kopff für die Frage der Behandlung der Relativitätstheorie in der Schule deswegen besonders interessiert, weil er selbst zunächst die Gymnasiallehrer-Laufbahn anstrebte und nach seinem Staatsexamen auch als Lehramtspraktikant eigene Unterrichtserfahrung sammeln konnte (siehe Kapitel 2.1).

#### **4.7.11 Kopff 1932: Die Ablenkung des Lichtes im Schwerefeld der Sonne**

Zeitschriftenartikel: „Die Ablenkung des Lichtes im Schwerefeld der Sonne“. Die Naturwissenschaften, 20. Jahrgang (1932), Seite 486-489.

Kopff gibt hier einen kritischen Vergleich der vorliegenden Beobachtungen und Auswertungen von Sonnenfinsternis-Expeditionen zur Bestimmung der Lichtablenkung an der Sonne. Insbesondere diskutiert er die Resultate der Potsdamer Expedition zur Sonnenfinsternis vom 9. Mai 1929 nach Takengon auf Nordsumatra (siehe Freundlich et al. 1931) und die daran anknüpfende Kritik von Ludendorff und Trümpler. Kopff lobt das von Freundlich benutzte Verfahren, den Skalenwert der Aufnahmen bei der Finsternis durch die Benutzung eines aufkopierten Gitters unabhängig von den Sternen zu bestimmen. Kopff hält für die Lichtablenkung am Sonnenrand einen Wert von 2,0 bis 2,2 Bogensekunden für den wahrscheinlichsten, traut also den Ergebnissen von Freundlich mehr als denen von Trümpler, obwohl der Trümpplersche Wert von 1,75 Bogensekunden (mit einem mittleren Fehler von  $\pm 0,13$  Bogensekunden) am besten zur Vorhersage der Allgemeinen Relativitätstheorie (1,75) paßte. Wir wissen heute, daß Trümpler eher Recht hatte als Freundlich (siehe auch Kapitel 4.5.4, Punkt(3), und Kapitel 4.5.6).

### **4.8 Kopffs Besprechungen von Büchern zur Relativitätstheorie und zur Kosmologie**

#### **4.8.1 Besprechung des Buches von Thirring (1921)**

Besprechung des Buches: Hans Thirring. Die Idee der Relativitätstheorie. Julius Springer, Berlin, 1921. 170 Seiten. Die Rezension erschien in: Die Naturwissenschaften, Band 10 (1922), Seite 185-186 (Kopff 1922b).

Kopff lobt dieses Werk außerordentlich. Thirring sei es gelungen, den gedanklichen Kern der Relativitätstheorie herauszuschälen und gründlich darzustellen, soweit dies bei völliger Vermeidung aller mathematischen Hilfsmittel möglich ist. Aus diesem Buch könne man wirklich erfahren, was die Relativitätstheorie will. Besonders freut es Kopff, daß Thirring die Auffassung der Rotation als einer relativen Bewegung immer wieder in den Vordergrund rückt. Andere Werke hätten diesen Punkt vielfach vernachlässigt. Bemerkenswert findet Kopff es auch, daß es Thirring gelungen ist, den gesamten Inhalt der Relativitätstheorie auf einer einzigen Druckseite in Form eines Schemas zusammenzufassen. Kopff gibt dieses Schema in seiner Besprechung in vollem Umfange wieder.

#### 4.8.2 Besprechung des Buches von Eddington (1923a)

Besprechung des Buches: A. S. Eddington. Raum, Zeit und Schwere. Ein Umriss der allgemeinen Relativitätstheorie. Ins Deutsche übertragen von W. Gordon. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1923. VIII + 204 Seiten. Die Rezension erschien in: Die Naturwissenschaften, Band 11 (1923), Seite 826-827 (Kopff 1923e).

Bei dem Werk handelt es sich um die deutsche Übersetzung des Buches: A. S. Eddington (1920). Space, Time and Gravitation. An Outline of the General Relativity Theory.

Kopff lobt das Buch sehr: „Auf alle Fälle ... ist ... mit der ... gelungenen Übersetzung von „Space, Time and Gravitation“ eines der wertvollsten Bücher über die Relativitätstheorie, das reich ist an klugen Gedanken und treffenden Einfällen, dem deutschen Leser leichter zugänglich geworden.“. Nur daß Eddington die Rotation von Körpern gegenüber dem metrischen Feld für absolut erklärt, stört Kopff (siehe Kapitel 4.7.2 zu Kopff 1921b). Er bedauert das, denn dann ist „die dargestellte Theorie keine eigentliche Relativitätstheorie; sie wird vielmehr zur einfachen Gravitationstheorie.“.

#### 4.8.3 Besprechung des Buches von Tolman (1934)

Besprechung des Buches: Richard C. Tolman. Relativity, Thermodynamics and Cosmology. Clarendon Press, Oxford, 1934. XV + 501 Seiten. Die Rezension erschien in: Die Naturwissenschaften, Band 23 (1935), Seite 323-324 (Kopff 1935).

Kopff gibt eine kurze Inhaltsangabe des Werks, das er als ein ausführliches und von Grund aus aufgebautes Lehrbuch der Relativitätstheorie einschätzt. Es gehe besonders auf die Entwicklung der letzten Jahre ein. Ein volles Drittel des Buches sei der Kosmologie gewidmet, wobei Tolman bereits die neuen Ergebnisse von Hubble über das System der Galaxien verwenden konnte.

#### 4.8.4 Besprechung des Buches von Hubble (1936)

Besprechung des Buches: Edwin Hubble. The Realm of the Nebulae. Oxford University Press (Humphrey Milford), London, 1936. XII + 210 Seiten. Die Rezension erschien in: Deutsche Literaturzeitung, Wochenschrift für Kritik der internationalen Wissenschaft, 58. Jahrgang (1937), Seite 1066-1070 (Kopff 1937a).

Kopff gibt zunächst einen kurzen Überblick über die Entwicklung der Astrophysik der Sterne und Gasnebel, und schreibt dann: „Viel weniger sind die Umwälzungen beachtet worden, welche unsere Auffassung vom räumlichen Aufbau des Universums erfuh.“. Dieses neue Weltbild sei noch nicht „zu einem Bestand unserer Allgemeinbildung geworden“. Das vorliegende Buch von Hubble, das aus Vorlesungen von 1935 an der Yale Universität hervorgegangen ist und sich mit der „Welt der außergalaktischen Nebel [*d.h. der Galaxien*] beschäftigt“, sei auch zum größten Teil dem Nichtfachmann verständlich. Kopff betont, daß Hubble neben der Theorie der Expansion des Universums auch die alternative Erklärung der „Lichtermüdung“ als eine Deutung der beobachteten Rotverschiebung im Spektrum der Galaxien für möglich hält <sup>66</sup>. Zur Frage der Lichtermüdung weist Kopff auch auf die entsprechenden Arbeiten von W. Nernst (1854-1941) hin. Kopff urteilt abschließend: „Im ganzen verdient das Buch von Hubble als erste umfassende Monographie der außergalaktischen Nebel [*d.h. der Galaxien*] besondere Beachtung. Man möchte ihm auch außerhalb des Kreises der Astronomen viele Leser wünschen.“.

#### 4.8.5 Besprechung des Buches von Hubble (1937)

Besprechung des Buches: Edwin Hubble. *The Observational Approach to Cosmology*. Clarendon Press, Oxford, 1937. VI + 68 Seiten. Die Rezension erschien in: *Deutsche Literaturzeitung, Wochenschrift für Kritik der internationalen Wissenschaft*, 59. Jahrgang (1938), Seite 500-502 (Kopff 1938b).

Dieses Buch von Hubble beruht auf Vorlesungen, die er 1936 in Oxford gehalten hatte. Es deckt sich inhaltlich vielfach mit dem früher erschienenen

---

<sup>66</sup>Vielen Lesern ist diese Position von Hubble vermutlich nicht bekannt. Sie erscheint uns heute erstaunlich. Wir betrachten mit Recht die Expansion des Universums (gerade aufgrund der Arbeiten von Hubble zur Beziehung zwischen Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien) als eine gesicherte Tatsache. Dagegen diskutierte Hubble (hier und in zahlreichen seiner sonstigen Arbeiten) sehr eingehend die Vorstellung von einer „Ermüdung“ des Lichts ('tired light') auf dem Weg von einer Galaxie zu uns als eine mögliche Ursache der beobachteten Rotverschiebung in den Spektren der Galaxien. Dabei sollten die Photonen aus ungeklärter Ursache Energie verlieren und sich damit ihre Lichtwellenlänge  $\lambda$  vergrößern (also ins Rote verschieben). Der Energieverlust der Photonen wurde meist als proportional zum zurückgelegten Weg angenommen, um so die Zunahme der Rotverschiebung mit zunehmender Entfernung der Galaxien zu erklären, wobei das Universum dann als stationär (also nicht expandierend) angenommen wird. Zwischen beiden Alternativen kann man durch Beobachtungen entscheiden, weil in einem expandierenden Kosmos die scheinbare Leuchtkraft einer Galaxie zusätzlich durch die räumliche „Verdünnung“ der Photonen geschwächt wird. Es handelt sich dabei um einen Extra-Faktor  $(1 + z)$ , wobei  $z = \Delta\lambda/\lambda$  die beobachtete Rotverschiebung im Spektrum der Galaxie ist. Hubble glaubte nun (aus unserer heutigen Sicht: fälschlich), daß seine Beobachtungen der Helligkeit-Rotverschiebungs-Relation von Galaxien und seine Zählungen von Galaxien als Funktion der scheinbaren Helligkeit der Galaxien viel besser mit der Annahme einer Lichtermüdung übereinstimmen würden als mit der Theorie eines expandierenden Universums. Für eine moderne Darstellung dieser Frage verweisen wir auf Sandage (1988, insbesondere dessen Kapitel 5.3.1).

Werk von Hubble (1936, siehe Kapitel 4.8.4). Kopff verweist daher auch auf seine obige Besprechung (Kopff 1937a) dieses früheren Buches. Das neue Buch sei aber allgemeiner und noch einfacher gehalten. Kopff berichtet, daß die Deutung der Rotverschiebung im Spektrum der Galaxien noch stark umstritten sei. In diesem Buch nehme „die eindrucksvolle Diskussion dieser verschiedenen Möglichkeiten der Deutung [*siehe unser Kapitel 4.8.4*] auf Grund der Beobachtungstatsachen“ einen breiten Raum ein<sup>67</sup>. Abschließend weist Kopff auf die ausgezeichneten Abbildungen nach Aufnahmen der Mount-Wilson-Sternwarte hin.

Uns liegt auch ein handschriftlicher Entwurf der Rezension vor, der sich in dem Privatexemplar (Besprechungsexemplar) von Kopff befand. Der Entwurf ist weitgehend identisch mit dem gedruckten Text der Besprechung.

---

<sup>67</sup>Hubble findet auch hier, daß seine Beobachtungen eigentlich besser zur Hypothese der Lichtermüdung passen als zur Theorie des expandierenden Universums

## 4.9 Rückblick

Welche Wirkungen hatten die Arbeiten von Kopff zur Relativitätstheorie?

Sein wichtigster Beitrag zur Relativitätstheorie war sicher sein Buch (Kopff 1921a, 1923a, und dessen Übersetzungen; siehe Kapitel 4.4). Dabei handelte es sich zwar nicht um einen Ausbau der Theorie. Das Buch trug aber zur Verbreitung der Ideen und der Methoden der Relativitätstheorie, insbesondere auch der Allgemeinen Relativitätstheorie, erheblich bei. Das Buch wandte sich an mathematisch vorgebildete Leser, d.h. an Studenten und interessierte Wissenschaftler. Der Vorteil des Buches gegenüber konkurrierenden Werken war seine gute Lesbarkeit und sein überschaubarer Umfang von ungefähr 200 Seiten. Dagegen umfaßte z.B. das zweibändige Werk von M. von Laue (1921a,b) fast 600 Seiten. Die deutsche Ausgabe des Buches von Eddington (1925) war ebenfalls fast doppelt so umfangreich und dazu noch fast viermal so teuer wie Kopffs Buch (19,50 Mark im Vergleich zu 5,50 Mark).

Der Lehrbuchartikel von Kopff (1928, siehe Kapitel 4.6)) war sicher in seiner Reichweite nicht mit seinem Buch vergleichbar. Der Lehrbuchband wurde vermutlich überwiegend von Bibliotheken und dann meist als Teil des Gesamtwerks angeschafft, schon aufgrund des Preises des entsprechenden Bandes von 39,50 RM.

Die Broschüre Kopffs von 1920 hatte sicher nur eine geringe Verbreitung. Hier war Einsteins eigene populäre Darstellung der Relativitätstheorie (1917b, mit zahlreichen späteren Auflagen) eine übermächtige Konkurrenz.

Die Zeitschriften-Artikel Kopffs (siehe Kapitel 4.7.2 bis 4.7.11) waren meist Übersichtsartikel. Als wichtigsten Originalbeitrag von Kopff zur Relativitätstheorie ist seine explizite Berechnung der Zentrifugal- und Coriolis-Kräfte in einem rotierenden Koordinatensystem, das in die Metrik des stationären Einstein-Universums eingebettet ist, zu werten (Kopff 1921c, siehe Kapitel 4.7.3).

In seinen Büchern und Arbeiten zeigt sich, daß Kopff die Relativitätstheorie mit voller Überzeugung vertritt. Auch wenn er gelegentlich vorsichtige Töne anschlägt, ist er doch voll davon überzeugt, daß Einsteins Theorie einen wichtigen Fortschritt in unserer Naturerkenntnis darstellt. Auffällig ist allerdings sein „Konservatismus“ bezüglich der Allgemeinen Relativitätstheorie: Er hält (auch noch in seinem Lehrbuchartikel von 1928) konsequent an den Ideen fest, die Einstein bei der Aufstellung der Allgemeinen Relativitätstheorie gelehrt haben. Das wird insbesondere bei der Frage deutlich, ob sich die Rotation als reine Relativbewegung analog zur Translationsbewegung auffassen läßt (siehe z.B. 1921b, Kapitel 4.7.2). Sein Unbehagen über andere (heute als richtig erkannte) Auffassungen bringt er am deutlichsten in einer Buchbesprechung

(Kapitel 4.8.2) zum Ausdruck: Falls die „Relativität der Rotation“ in der Allgemeinen Relativitätstheorie nicht voll enthalten wäre, dann sei „die dargestellte [*Allgemeine Relativitäts-*]Theorie keine eigentliche Relativitätstheorie; sie wird vielmehr zur einfachen Gravitationstheorie.“

Ähnlich konservativ verhält sich Kopff auch in der Frage der Kosmologie. Das von Einstein 1917 vorgeschlagene stationäre Universum in einem sphärischen Raum mit endlichem Volumen ist Kopffs bevorzugte Lösung des kosmologischen Problems. Andere Ansätze behandelt er zwar auch, aber zu der wichtigen, von de Sitter (1917) gefundenen Lösung der Einsteinschen Feldgleichungen mit einem leeren Kosmos meint Kopff<sup>68</sup> 1921 und 1923, daß diese „zu physikalisch gänzlich unbefriedigenden Ergebnissen führt“.

Die für die heutige Kosmologie so wichtigen Arbeiten von Friedmann (1922, 1924) erwähnt Kopff an keiner Stelle. Für die Aufnahme in die 2. Auflage von Kopffs Buch (1923a) kam die Arbeit Friedmanns von 1922 zwar zu spät, weil Kopff den Text bereits im ersten Halbjahr 1922 abgeschlossen hatte (siehe Kapitel 4.4.2). Aber in seinem Lehrbuchartikel von 1928 hätte Kopff die Friedmannschen Arbeiten durchaus erwähnen können. Wir gehen davon aus, daß sie Kopff bekannt waren, schon wegen des bemerkenswerten Vorgangs, daß Einstein Friedmanns Arbeit von 1922 zunächst stark kritisierte<sup>69</sup>, seine Kritik dann aber wieder offiziell zurückzog<sup>70</sup>. Vielleicht war Kopff in der Ablehnung der Friedmannschen Lösungen durch Einstein beeinflußt, der zwar schließlich Friedmanns Rechnungen als mathematisch korrekt anerkannte, aber trotzdem meinte, daß diesen Lösungen „eine physikalische Bedeutung kaum zuzuschreiben sein dürfte“.

In seinem Lehrbuchartikel von 1928 (S. 576) äußert sich Kopff außerdem sehr kritisch darüber, ob eine Zunahme der Radialgeschwindigkeiten von Galaxien mit wachsendem Abstand tatsächlich beobachtet wird: „Nach den neueren Untersuchungen ... ist jedoch ein ausgesprochener Zusammenhang zwischen Radialgeschwindigkeit und Entfernung in dem von der Theorie geforderten Sinne nicht vorhanden; ...“. Auch von daher ist für Kopff das stationäre Einstein-Universum von 1917 wohl immer noch die bevorzugte Lösung. In seinen Besprechungen der Bücher von Hubble (siehe Kapitel 4.8.4 und 4.8.5) nimmt Kopff auch 1937/38 keine klare Stellung zur Frage der Realität der kosmischen Expansion ein. Vermutlich hat Kopff erst viel später voll akzeptiert, daß sich unser Weltall ausdehnt<sup>71</sup>.

---

<sup>68</sup>Kopff 1921b, Fußnote <sup>3</sup>) auf S. 11. Siehe auch unser Kapitel 4.7.2. Ferner: Kopff 1923a, Fußnote auf S. 197. In seinem Lehrbuchartikel ist dann aber auf S. 575/576 eine kurze Darstellung des de-Sitter-Universums und der in ihm auftretenden Expansionsbewegung gegeben.

<sup>69</sup>Zeitschrift für Physik, Band 11 (1922), S. 326

<sup>70</sup>Zeitschrift für Physik, Band 16 (1923), S. 228

<sup>71</sup>Wir kennen nach 1938 leider keine schriftlichen Äußerungen Kopffs zur Frage der Realität der kosmischen Expansion

## 5 Kopff und seine Beziehungen zu Einstein

Über die Beziehungen zwischen Einstein und Kopff liegen uns leider nur wenige direkte Dokumente vor. Dabei handelt es sich um den Briefwechsel, den Einstein mit Kopff im Januar 1930 führte. Dieser Briefwechsel besteht aus 3 Briefen Einsteins und 2 Antwortbriefen von Kopff. Wir besprechen die 5 Briefe in den Kapitel 6 und 7 ausführlich.

Der Briefwechsel vom Januar 1930 endet etwas abrupt, da Kopff den Brief Einsteins vom 31. Januar nicht mehr schriftlich beantwortet. Dafür deuten handschriftliche Notizen von Kopff auf diesem letzten Brief („Montag und Donnerstag vormittags nicht“) auf eine mündliche Fortsetzung der Diskussion zwischen Einstein und Kopff hin.

Erstaunlicherweise erwähnt Einstein in keiner seiner Publikationen das Lehrbuch von Kopff (1921a, 1923a) oder andere Arbeiten Kopffs zur Relativitätstheorie. Sicher ist aber, daß Einstein Kopffs Lehrbuch kannte und wohl auch schätzte. Denn er empfahl in einem Brief vom 5. Januar 1934<sup>72</sup> dem Amerikaner Nathan Leopold<sup>73</sup> unter anderem die englische Übersetzung von Kopffs Buch (Kopff 1923b) zum Studium der Relativitätstheorie mit den Worten: „... it would be easy for you to study relativity, for instance, the collection of the original statements, Lorentz-Einstein-Minkowski, the textbook by Kopff which as far as I know is translated into English, and the mathematical book on relativity by Eddington.“.

Daß Einstein die schriftstellerische Betätigung Kopffs auf dem Gebiet der Relativitätstheorie schätzte, geht aus zwei Briefen Einsteins aus dem Jahre 1922 hervor:

Einstein hatte zwischen 1912 und 1914 ein Manuskript über die Spezielle Relativitätstheorie fertiggestellt<sup>74</sup>. Es war für das mehrbändige Werk „Handbuch der Radiologie“ bestimmt, das der Sommerfeld-Schüler Erich Marx (1874-1956) seit 1913 herausgab. Wegen des Ersten Weltkriegs wurde der entsprechende (sechste) Band mit Einsteins Arbeit aber nicht gedruckt. In einem Brief vom 2. Januar 1922 bat Marx Einstein, sein Manuskript auf den neuesten

---

<sup>72</sup>Scan des Originalbriefs im Internet unter:  
<http://legendaryauctions.com/LotDetail.aspx?inventoryid=33602>

<sup>73</sup>Nathan Leopold (1904-1971) hatte 1924 als Student der University of Chicago zusammen mit einem Komplizen einen vierzehnjährigen Jungen ermordet. Er wurde dafür zu lebenslanger Haft verurteilt und 1958 begnadigt. Leopold beschäftigte sich im Gefängnis mit dem Erlernen von zahlreichen Sprachen und hatte auch naturwissenschaftliche Interessen. In einem Brief vom 14. November 1933 (nachgewiesen in den Einstein Archives Online unter Nr. 50-880) fragte er Einstein um Rat, mit Hilfe welcher Werke er die Relativitätstheorie studieren könne.

<sup>74</sup>Siehe hierzu „The Collected Papers of Albert Einstein“ (Einstein 1987ff im Literaturverzeichnis), Vol. 4 (1995), S. 3

Stand zu bringen und einen kurzen Abriß der Allgemeinen Relativitätstheorie hinzuzufügen. Am 4. Januar 1922 schrieb Einstein an Marx, daß er ihm wegen Arbeitsüberlastung leider absagen müsse. Für den Artikel zur Allgemeinen Relativitätstheorie empfahl Einstein Marx in diesem Brief Weyl, Pauli, Thirring, von Laue oder Kopff. Marx verzichtete aber nach Einsteins Absage völlig darauf, einen Artikel zur Allgemeinen Relativitätstheorie in das Handbuch aufzunehmen.

In einem Brief an Einstein vom 17. März 1922 bat der Herausgeber der neuen Reihe „Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften“, der Physiker Arnold Berliner (1862-1942), Einstein um einen Übersichtsartikel zur Relativitätstheorie. Falls Einstein dazu keine Zeit hätte, beabsichtige er, sich an Thirring oder Kopff zu wenden. Einstein schrieb als Antwort in seinem Brief<sup>75</sup> vom 17. März 1922 (oder später) an Berliner, daß er aus Zeitgründen den gewünschten Artikel nicht schreiben könne. Einstein fährt dann fort: „Ihre [*d.h. Berliners*] Absicht, Thirring oder Kopff mit der Abfassung des Berichts [*über den Stand der Relativitätstheorie*] zu beauftragen, billige ich durchaus.“. Den Artikel hat dann in der Tat Thirring verfaßt. Er erschien noch 1922 (Thirring 1922b).

Beide Artikel, für das „Handbuch der Radiologie“ und für die „Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften“, hätte Kopff aus Zeitgründen aber auch gar nicht kurzfristig fertigstellen können. Denn er war seit Ende 1921 intensiv an der Planung und der Durchführung der Sonnenfinsternis-Expedition 1922 zur Weihnachtsinsel im Indischen Ozean beteiligt (siehe Kapitel 4.5). Bereits Mitte Juni 1922 verließ Kopff Deutschland per Schiff. Selbst das Lesen der Korrekturen für die 2. Auflage seines Buches konnte Kopff nicht mehr selbst erledigen, sondern mußte dazu seinen Heidelberger Kollegen Max Mündler um Hilfe bitten (siehe Kapitel 4.4.2).

Aus dem Jahr 1922 gibt es ein weiteres Dokument, in dem Einstein zu Kopff Stellung nimmt: Bei der Besetzung der Stelle eines Hauptobservators am Astrophysikalischen Observatorium Potsdam (AOP) wurde neben Freundlich auch Kopff als einer der möglichen Kandidaten genannt. Einstein gab aber aus verständlichen Gründen seinem langjährigen Mitarbeiter Freundlich den Vorzug<sup>76</sup>. Freundlich war bereits seit 1920 Observator am AOP und seit 1921 Leiter des Einstein-Instituts in Potsdam. 1922 wurde Freundlich zum Hauptobservator am AOP ernannt. Die Stellungnahme Einsteins in dieser Stellen-

---

<sup>75</sup>Dieser Brief ist wiedergegeben in „The Collected Papers of Albert Einstein“ (siehe Einstein 1987ff im Literaturverzeichnis), Vol. 13 (2012), Nr. 91, S. 191

<sup>76</sup>Siehe Kirsten und Treder 1979, Teil I, Dokument Nr. 107, S. 187/188 [*Niederschrift einer Besprechung der Wissenschaftsabteilung des preußischen Kultusministeriums mit Albert Einstein, Hans Ludendorff, Gustav Müller, Max Planck, Heinrich Rubens und Max von Laue in Berlin am 10. Januar 1922*]: „... Bezüglich der Besetzung der freien Hauptobservatorenstelle trat Herr Ludendorff [*seit 1921 Direktor des AOP*] erneut mit größter Wärme für die Ernennung des Herrn Dr. Freundlich ein. ... Dem Gedanken einer Ernennung des Herrn Prof. Kopff in Heidelberg zum Hauptobservator stehen die Herren Ludendorff und Einstein ablehnend gegenüber. ...“.

besetzungsangelegenheit war sicher kein Negativ-Urteil über Kopff, sondern diente in Einsteins Augen hauptsächlich dem Ziel, Freundlich und das von diesem initiierte Einstein-Institut zu sichern. Übrigens hat sich Ludendorff später sehr über Freundlichs „unabhängiges“ Verhalten als Leiter des Einsteinturms beschwert, auch gegenüber Einstein.

Über die nichtdokumentierten, aber sicher vorhandenen sonstigen Beziehungen zwischen Einstein und Kopff können wir nur Mutmaßungen anstellen. Den ersten Kontakt könnte Freundlich hergestellt haben, der seit 1911 Einsteins engster Mitarbeiter auf astronomischem Gebiet war und der auch mit Kopff gut bekannt war (siehe Kapitel 4.2). Kopff war der einzige deutsche Astronom, der sich ab 1919 neben Freundlich viele Jahre lang der Relativitätstheorie in Lehre und Forschung intensiv widmete<sup>77</sup>. Es wäre erstaunlich, wenn Freundlich Einstein nicht auf Kopffs Engagement hingewiesen hätte.

Da Kopff im Jahre 1920 der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) beitrug, deren Mitglied Einstein bereits seit 1913 war, könnten sich beide auf den Tagungen dieser Gesellschaft getroffen haben. Bis 1920 fanden die Tagungen der DPG stets im Rahmen der Versammlungen der „Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte“ als deren Physikalische Abteilung statt. Vom 19. bis 25. September 1920 fand die gemeinsame Tagung in Bad Nauheim statt, das knapp 30 km nördlich von Frankfurt am Main liegt. Einstein nahm an dieser Tagung teil. Am 23. und 24. September 1920 fanden spezielle Sitzungen zur Relativitätstheorie statt, auf der die Befürworter und die Gegner der Theorie (insbesondere Lenard) kontrovers diskutierten. Wir vermuten, daß Kopff an diesen Sitzungen in Bad Nauheim teilgenommen hat und daß er Einstein, aber auch Born, von Laue und Weyl, sein gerade in Arbeit befindliches Buchprojekt zur Relativitätstheorie mitgeteilt hat.

In Bezug auf das fertiggestellte Lehrbuch von Kopff (1921a, 1923a) kann man vermuten, daß entweder Kopff oder der Verlag Hirzel an Einstein ein Freixemplar geschickt hat<sup>78</sup>. Dies hätte schon die Höflichkeit geboten bei

---

<sup>77</sup>Der Astronom Karl Schwarzschild (1873-1916) hatte zur Allgemeinen Relativitätstheorie sehr wichtige theoretische Beiträge (1916: Schwarzschildlösung für eine Punktmasse und für eine Flüssigkeitskugel) und einen beobachterischen Beitrag (1915 zur Gravitationsrotverschiebung bei der Sonne) geliefert, war aber früh verstorben

<sup>78</sup>Nach einer freundlichen Mitteilung von Frau Dr. Barbara Wolff, Albert Einstein Archives der Hebrew University in Jerusalem, befindet sich heute nur die italienische Fassung von Kopffs Buch (siehe Kapitel 4.4.4) in der überlieferten Privatbibliothek von Einstein, dagegen kein Exemplar der deutschen, englischen oder russischen Fassung. Für die englische Fassung galt dies wohl auch bereits 1934, denn sonst hätte Einstein sich sicher in seinem Brief vom 5. Januar 1934 an Nathan Leopold nicht so vage zu Kopffs Buch ausgedrückt. Zu den heute nicht in Einsteins Privatbibliothek befindlichen Büchern Kopffs sagt Frau Dr. Wolff, daß es möglich sei, daß Einstein diese verliehen und sie nicht mehr zurückgefordert habe, und daß ferner Helene Dukas nach Einsteins Tod eventuell diese Werke Freunden und Verwandten Einsteins zukommen ließ.

einem Werk, das Einsteins Namen im Titel trägt. Eine entsprechende Reaktion Einsteins ist uns aber nicht bekannt.

1922 nahm Kopff an der Sonnenfinsternis-Expedition zur Weihnachtsinsel teil (siehe Kapitel 4.5). Diese Expedition hatten Einstein und eine Reihe prominenter Astronomen auf der Tagung der Astronomischen Gesellschaft (AG) im August 1921 in Potsdam angeregt<sup>79</sup>. Diese Potsdamer AG-Tagung war wegen des Ersten Weltkriegs die erste nach der Hamburger AG-Tagung 1913. Zusammen mit Freundlich hat Kopff die Expedition auch vorbereitet. Einstein verzichtete auf die ihm angebotene Teilnahme an der Reise. Es ist ziemlich unwahrscheinlich, daß die Vorbereitung der Expedition nicht zu einem (weiteren) Kontakt zwischen Einstein und Kopff geführt hat.

Warum sind aber keine Briefe zwischen Einstein und Kopff aus der Zeit bis 1924 überliefert? Von Einstein ist bekannt, daß er seine Briefe in dieser Zeit handschriftlich verfaßte, ohne Durchschlag oder Kopie. Auch hob er eingegangene Briefe nicht auf. Briefe, die Kopff von Einstein eventuell erhielt und die er dann vermutlich zunächst aufbewahrte, könnten im Zuge der Umsiedlung des Astronomischen Rechen-Instituts 1944/45 von Berlin über Sermuth nach Heidelberg (siehe Wielen R. und Wielen U. 2012a) verlorengegangen sein.

Ob Einstein auf die 1924 erfolgte Berufung Kopffs nach Berlin Einfluß genommen hat, ist uns nicht bekannt. Mitglied der Berufungskommission war Einstein nicht (siehe Kapitel 2.1 von Wielen R. und Wielen U. 2012a). Dagegen waren Planck und von Laue Mitglieder der Kommission. Über sie hätte Einstein leicht seine Meinung zu Kopff einbringen können. Sicher aber hat Kopffs Engagement für die Relativitätstheorie ihm im Berliner Berufungsverfahren genutzt, da er dadurch als ein gegenüber der modernen Physik aufgeschlossener Astronom ausgewiesen war.

Nachdem Kopff im Juli 1924 zum Ordinarius und Institutsdirektor in Berlin ernannt worden war (siehe Kapitel 2.6), bestand kaum noch ein Anlaß zu einem Briefwechsel zwischen Einstein und Kopff, da nun beide in (oder nahe bei) Berlin lebten. Einerseits konnte man sich auf Sitzungen oder Kolloquien treffen, andererseits verfügten beide über einen Telefonanschluß (Einstein jedenfalls in seiner Wohnung in der Haberlandstraße, dagegen nicht in seinem Sommerhaus in Caputh). Von daher ist der Briefwechsel zwischen Einstein und Kopff aus dem Jahre 1930 fast schon erstaunlich (und scheint ja dann auch in ein mündliches Gespräch übergegangen zu sein). Anlaß zu Gesprächen zwischen Kopff und Einstein hätte z.B. der 1928 erschienene Lehrbuchartikel

---

<sup>79</sup>Der entsprechende Antrag wurde in schriftlicher Form vorgelegt. Einstein und Freundlich waren aber auch persönlich auf der Tagung anwesend (laut Liste der teilnehmenden Mitglieder und durch ihre Diskussionsbemerkungen belegt). Kopff hat offenbar nicht an der Tagung teilgenommen, denn in der Liste der Teilnehmer ist er nicht aufgeführt. Eventuell haben finanzielle Probleme seine Teilnahme verhindert, weil die Inflation damals schon sehr stark war.

von Kopff zur Relativitätstheorie (siehe Kapitel 4.6) sein können. Ferner hatte Kopff in Berlin engen Kontakt zu Freundlich, und auch daraus hätten sich Treffen mit Einstein ergeben können.

Nach Einsteins Weggang aus Berlin im Jahre 1933 gab es mit höchster Wahrscheinlichkeit keine Kontakte mehr zwischen Einstein und Kopff. Wir konnten z.B. keine Tagung im Ausland finden, an der etwa beide teilgenommen hätten. Immerhin hat Einstein noch 1934 Kopffs Lehrbuch empfohlen (siehe oben).

Nach Beendigung des Zweiten Weltkriegs gab es einen weiteren indirekten Kontakt von Kopff zu Einstein. Ein Neffe von Kopff, Oberarzt Dr. Dieter Müller, war im August 1944 in englische Gefangenschaft geraten. Er war im Kriegsgefangenenlager (Prisoner-of-War Camp No. 18) in Featherstone Castle bei Haltwhistle im englischen Northumberland (nahe der schottischen Grenze) zusammen mit ca. 7000 deutschen Offizieren untergebracht. Von dort aus schrieb Müller am 2. Juli 1945 einen Brief an Einstein in Princeton. Wir geben diesen Brief in Kapitel 8.6 wieder. In dem Brief bestellt Müller Grüße von seinem Onkel, Prof. Dr. August Kopff, von denen er sagt, daß dieser sie ihm 1943 aufgetragen habe, als Müller zu einer ärztlichen Ausbildung nach Madrid fahren sollte. Müller bezeichnet Kopff in seinem Brief als Einsteins „früheren Mitarbeiter“. Kopff hätte es sehr bedauert, daß er die Verbindung mit Einstein verloren habe. Ob Kopff noch lebe, wisse er nicht.

Wir halten es für sehr mutig von Kopff, daß er Müller mit seinen Grüßen an Einstein beauftragt hat. Denn Einstein war in Deutschland offiziell geächtet und dazu seit Kriegseintritt der USA 1941 noch Einwohner eines feindlichen Staates. Hätten deutsche Stellen auf irgendeinem Weg von noch so harmlosen Kontaktversuchen Kopffs zu Einstein erfahren, so wäre Kopff in größte Schwierigkeiten geraten<sup>80</sup>. Wir vermuten, daß Müller mit seinem Brief neben der Übermittlung von Kopffs Grüßen auch seine Stellung im Kriegsgefangenenlager prestigemäßig verbessern wollte, indem er darauf hinwies, daß sein Onkel August Kopff ein sehr bedeutender Wissenschaftler sei, der Einstein gut kenne. Da die Engländer den Brief sicher zensiert haben und das auch mit der erhofften Antwort Einsteins getan hätten, so sollte ihnen auf diese Weise die Bedeutung Kopffs und damit die seines Neffens Müller wohl zur Kenntnis gebracht werden. Ob Müllers Briefaktion ihm wirklich Vorteile eingebracht hat, wissen wir nicht. Einstein hat jedenfalls auf den Brief Müllers nicht reagiert<sup>81</sup>, weder positiv noch negativ. Auch Kopff hat nach unserem Wissen nach 1945 von Heidelberg aus nicht versucht, Kontakt zu Einstein aufzunehmen.

---

<sup>80</sup> Andererseits hat z.B. Max von Laue 1943 einen Besuch in Schweden benutzt, um einen Brief an Einstein zu schreiben. Siehe Einstein Archives Online Nr. 16-116.

<sup>81</sup> Jedenfalls ist kein entsprechendes Schreiben in den Einstein Archives Online nachgewiesen

## 6 Der überlieferte Briefwechsel zwischen Einstein und Kopff

### 6.1 Verlauf des Briefwechsels zwischen Einstein und Kopff

Wir kennen fünf Briefe, die im Jahre 1930 zwischen Einstein und Kopff gewechselt wurden. Dabei handelt es sich um drei Briefe Einsteins und zwei Antwortbriefe Kopffs.

Zwar ist es wahrscheinlich, daß schon früher ein Briefwechsel zwischen Einstein und Kopff stattfand (siehe Kapitel 5). Davon ist aber nichts überliefert.

Der Briefwechsel des Jahres 1930 beginnt mit einem Brief von Einstein an Kopff. Der Brief enthält eine Frage zur zeitlichen Veränderung der Bahn des Mondes und ist vom 13. Januar 1930 datiert. Dies war ein Montag.

Kopff antwortet relativ rasch am 16. Januar 1930, d.h. am Donnerstag.

Der zweite Brief Einsteins an Kopff stammt vom Montag, den 20. Januar 1930. Einstein dankt Kopff für seine Antwort und erweitert seine Frage nun auf die Bahnen der Planeten.

Kopff beantwortet den zweiten Brief Einsteins 10 Tage später, am Donnerstag, den 30. Januar 1930.

Einstein antwortet sofort mit einem dritten Brief an Kopff vom Freitag, den 31. Januar 1930. Einstein fragt darin, ob gewisse ungeklärte Effekte in den Bewegungen der Planeten durch Gezeitenwirkungen der Sonne erklärt werden könnten. Er bittet Kopff, „dies nachzusehen“. Dabei bleibt unklar, ob Einstein Kopff darum bittet, die vorhandene Literatur daraufhin durchzusehen, oder ob Einstein von Kopff erhofft, daß dieser eigene Rechnungen dazu anstellt.

Eine Antwort Kopffs auf den dritten Brief Einsteins ist nicht überliefert. In Kapitel 7.5 begründen wir, warum wir aufgrund einer handschriftlichen Notiz von Kopff am Ende des dritten Briefs von Einstein („Mo und Do vormittags nicht“) davon ausgehen, daß die Diskussion zwischen Einstein und Kopff nach dem 31. Januar 1930 mündlich fortgesetzt wurde.

Wir beschreiben die fünf Briefe eingehend in unseren Kapiteln 7.1 bis 7.5. Von den beiden originalen Einstein-Briefen, die sich im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts erhalten haben, geben wir auch Scans in den Fig. 69 und 70.

## 6.2 Überlieferung des Briefwechsels zwischen Einstein und Kopff

Der Briefwechsel zwischen Einstein und Kopff ist auf zwei Wegen überliefert: über das Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts und über das Archiv von Albert Einstein.

Im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts befinden sich die Original-Briefe Einsteins vom 20. und 31. Januar 1930, also der zweite und dritte Brief Einsteins. Diese Briefe wurden in einem Papp-Ordner des Instituts aufbewahrt, der die Aufschrift „XX. Wissenschaftl[iche] Auskünfte“ trägt. In Mappen dieser Art wurden im Astronomischen Rechen-Institut seit jeher die Schriftstücke lose und ungelocht abgelegt (siehe Kapitel 10.A.2 von Wielen R. und Wielen U. 2012a). Die beiden Briefe Einsteins sind daher auch heute noch ohne Abheftlochung. Die Mappe XX (= 20) enthält weitere, zahlreiche Korrespondenz von Kopff mit anderen Personen oder Einrichtungen. Die Mappe XX weist dadurch eine Dicke von ca. 4 cm auf. Die heute noch in der Mappe XX befindlichen Schriftstücke reichen zeitlich von 1923 bis 1934. Die Einstein-Briefe wurden somit im Institut gut, aber nicht auf besonders herausgehobene Weise archiviert.

Das Archiv von Albert Einstein enthält die Durchschläge aller drei Einstein-Briefe, also auch des ersten Briefes vom 13. Januar 1930. Es enthält ferner die Originale der beiden Antwort-Briefe Kopffs vom 16. und 30. Januar 1930. Das Archiv Einsteins wurde 1930 bereits von seiner langjährigen Sekretärin Helene Dukas betreut, die die Einstein-Briefe an Kopff sicher auch auf der Schreibmaschine getippt hat, wohl nach Diktat von Einstein. Über eine Reihe von Zwischenstufen gelangten die Schriftstücke von Berlin über Princeton in die Albert-Einstein-Archives (AEA) der Hebrew University of Jerusalem. Das Urheberrecht an den Briefen Einsteins liegt bei dieser Einrichtung. Wir sind daher den Albert-Einstein-Archives für die Genehmigung zur Wiedergabe der Einstein-Briefe und für die Überlassung von Kopien derjenigen Schriftstücke, die im Institutsarchiv fehlen, dankbar. Im AEA werden die Schriftstücke durch sogenannte Call-Numbers identifiziert. Diese Nummer geben wir bei den jeweiligen Briefen in Kapitel 7.

Warum befindet sich weder der erste Brief Einsteins vom 16. Januar 1930 noch Durchschläge oder Konzepte der Briefe Kopffs an Einstein im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts? Die Hauptursache ist vermutlich die Verlagerung des Instituts 1944 von Berlin über Sermuth nach Heidelberg in den Jahren 1944 und 1945. Die näheren Umstände dieser Verlagerung von Berlin und den Neubeginn in Heidelberg haben wir in einem früheren Buch (Wielen R. und Wielen U. 2012a) eingehend beschrieben. In diesen turbulenten Zeiten konnte weder eine vollständige Mitnahme noch eine Sicherung aller Archivalien gewährleistet werden.

Natürlich kann nicht ausgeschlossen werden, daß der erste Einstein-Brief vom 16. Januar 1930 erst später dem Institut „entfremdet“ wurde. Die Gründe dafür können bei einem Brief mit der eigenhändigen Unterschrift Einsteins vielfältig sein und wir wollen darüber nicht spekulieren. Erstaunlich wäre es dann jedoch, warum nur einer von drei originalen Briefen Einsteins betroffen sein sollte. Das spricht eher für einen unbeabsichtigten Verlust. Ebenso spricht für einen unbeabsichtigten Verlust, daß sich im Institutsarchiv auch kein Durchschlag und kein handschriftliches Konzept der Briefe Kopffs an Einstein erhalten haben. Ob überhaupt Durchschläge von Kopffs Briefen an Einstein angefertigt wurden, ist allerdings nicht sicher. Kopff hatte die Angewohnheit, oft nur das Konzept seines Antwortbriefs handschriftlich auf die Rückseite des eingegangenen Briefes niederzuschreiben und so den Antwortbrief ohne Durchschlag zu dokumentieren. Allerdings tragen die originalen Einstein-Briefe im Institutsarchiv keine solchen Konzepte auf ihrer Rückseite. Wir halten es für sehr unwahrscheinlich, daß jemand eventuelle Durchschläge oder separate Konzepte der Antworten Kopffs an Einstein bewußt aus dem Archiv entfernt hat.

### **6.3 Wissenschaftlicher Inhalt des Briefwechsels zwischen Einstein und Kopff**

Das beherrschende Thema im Briefwechsel zwischen Einstein und Kopff sind die zeitliche Entwicklung der Bahnen von Mond und Planeten durch die Wirkung von Gezeitenkräften und Gezeitenreibung. Fragen der Allgemeinen Relativitätstheorie werden damit nur sehr indirekt berührt, weil eine der zeitlichen Entwicklungen der Bahnen, nämlich die Periheldrehung des Merkurs, die erste Hauptstütze der Theorie war.

In seinem ersten Brief erkundigt sich Einstein über die Entwicklung der Bahn des Mondes um die Erde. Anlaß ist die Frage eines kleinen Jungen aus Posen an Einstein, ob der Mond eines Tages auf die Erde stürzen würde.

Einstein erkennt richtig, daß die Gezeitenreibung eher die Zunahme der Entfernung des Mondes von der Erde bewirkt. Der gleiche Effekt sollte auch bei Doppelsternen auftreten.

Obwohl Einstein seine Argumentation nicht im Detail ausführt, läuft sie im Prinzip auf die Erhaltung des gesamten Drehimpulses in einem System aus zwei Körpern hinaus<sup>82</sup>. Der Mond befindet sich bereits in gebundener Rotation. Dabei ist die Umdrehungsperiode um die eigene Achse gleich der Umlaufzeit

---

<sup>82</sup>Der Drehimpuls eignet sich für die folgende Argumentation besser als die Energie. Denn durch den bei der Gezeitenreibung auftretenden Energieverlust ist die mechanische Gesamtenergie im System keine Erhaltungsgröße.

um die Erde. Der Mond zeigt also (bis auf kleine Librationen) der Erde immer die gleiche Seite. Der Eigendrehimpuls des Mondes ist daher heute vollständig an die Umlaufszeit des Mondes und damit an den Bahndrehimpuls des Mondes gekoppelt. Dagegen stammt der Eigendrehimpuls der Erde aus ihrer Entstehungszeit. Durch die Reibungsverluste, die dadurch entstehen, daß sich die Erde unter den Flutbergen hindurch dreht, die der Mond (und in geringerem Maße auch die Sonne) auf der Erde (besonders in den Meeren) hervorruft, wird die Erdrotation abgebremst. Dadurch verlängert sich der Tag auf der Erde heute um ca. 2 Millisekunden pro Jahrhundert. Die Verlangsamung der Erdrotation bewirkt eine langsame zeitliche Abnahme des Eigendrehimpulses der Erde. Um den Gesamtdrehimpuls des Erde-Mond-Systems konstant zu halten, muß der Bahndrehimpuls des Mondes um den gleichen Betrag zunehmen, wenn wir hier den kleinen Eigendrehimpuls des Mondes vernachlässigen. Wenn wir die Bahn des Mondes vereinfacht als Kreisbahn annehmen, dann beträgt der spezifische Bahndrehimpuls  $J$  des Mondes  $J = 2\pi a^2/U$ , wobei  $a$  der Radius der Mondbahn und  $U$  die Umlaufszeit des Mondes um die Erde ist<sup>83</sup>. Wegen des dritten Keplerschen Gesetzes ( $a^3$  ist proportional zu  $U^2$ ) ist  $J$  proportional zu  $\sqrt{a}$ . Wenn also  $J$  aufgrund der Gezeitenreibung auf der Erde und der Erhaltung des Gesamtdrehimpulses zunimmt, dann vergrößert sich der Radius  $a$  der Mondbahn entsprechend. Der Prozeß kommt im Zweikörperproblem zum Stillstand, wenn auch die Erde gebunden rotiert, d.h. wenn die Umdrehungszeit der Erde um ihre eigene Achse (der „Erden-Tag“) genau gleich der Umlaufszeit des Mondes um die Erde (also gleich dem „Mond-Monat“) ist.

Das Drehimpuls-Argument erlaubt ohne größere Rechnung eine Aussage über den Endzustand des Erde-Mond-Systems als Zweikörperproblem. G. H. Darwin (1911a, S. 293) hat, allerdings auf andere Weise, abgeschätzt, daß im Endzustand ein Erden-Tag und ein Mond-Monat<sup>84</sup> beide 55 heutige Erden-Tage lang sein würden. Modernere Zahlenwerte für den Eigendrehimpuls<sup>85</sup> der Erde ergeben 45,5 heutige Erden-Tage (z.B. Gerstenkorn 1955) und ein Anwachsen des Radius  $a$  der Mondbahn von heute 60 auf dann 85 Erdradien.

Während die Anwendung des Prinzips der Erhaltung des Drehimpulses auf das System Erde-Mond übersichtlich und einfach ist, kann dieses Verfahren nicht ohne weiteres eine detaillierte Beschreibung des Ablaufs der auftretenden Prozesse als Funktion der Zeit  $t$  geben, also insbesondere nicht die Funktion  $a(t)$  liefern. Aus den Rechnungen von Gerstenkorn (1955) kann man aber entnehmen, daß es viele Milliarden Jahre dauern wird, bis sich die Erde einer gebundenen Rotation bezüglich des Mondes hinreichend genähert haben wird.

---

<sup>83</sup>Bei einer elliptischen Bahn mit der Exzentrizität  $e$  tritt noch der Faktor  $\sqrt{1 - e^2}$  hinzu.  $a$  bezeichnet dann die große Halbachse der Ellipse.

<sup>84</sup>Die siderische Umlaufszeit des Mondes um die Erde beträgt heute ca. 27,3 Tage

<sup>85</sup>Der Eigendrehimpuls der Erde hängt von der angenommenen Dichteverteilung im Erdinnern ab

Im Falle eines isolierten Zweikörpersystems würde also keine Gefahr bestehen, daß der Mond auf die Erde herabstürzt. Anders sieht es aus, wenn man den Einfluß der Sonne und die Reibung der Erde an den Gezeitenbergen, die die Sonne auf der Erde hervorruft, berücksichtigt. Die Sonne versucht durch ihre Gezeitenwirkung, den Erden-Tag im Laufe der Zeit der Umlaufzeit der Erde um die Sonne (d.h. einem „Erden-Jahr“) anzunähern. Nach Darwin (1911a, S. 294) würde dies später zu einer Verkleinerung des Mondbahnradius  $a$  führen. Darwin schließt, daß „the moon ... must ultimately fall back into the earth.“. Agnes Pockels (Darwin 1902, S. 261) hat das so übersetzt: „Der Mond ... muß schließlich auf die Erde herabfallen.“. Also doch keine vollständige Entwarnung für den kleinen Jungen aus Posen! Wir kennen leider keine modernen Arbeiten zur langfristigen Zukunft des Systems Sonne-Erde-Mond unter dem Gesichtspunkt der Gezeitenreibung. Jeffreys (z.B. 1976, S. 342/343) hat aber darauf hingewiesen, daß der Mond nicht direkt auf die Erde stürzen würde. Der Mond würde vielmehr durch die Gezeitenkräfte der Erde in Stücke gerissen werden, sobald er in die Roche-Zone der Erde einträte. Der Roche-Radius dieser Zone um die Erde beträgt für den Mond ungefähr zwei Erdradien. Die Reste des Mondes würden dann ein massives Ringsystem um die Erde bilden, analog zum Saturnring. Kurz bevor den Mond dieses Schicksal ereilen würde, hätte seine Gezeitenwirkung aber sicher auf der Erde bereits sehr unerfreuliche Ereignisse ausgelöst! Das hier skizzierte, sehr langfristige Szenario für die Zukunft des Erde-Mond-Systems läßt aber einen wichtigen Aspekt außer Acht: die innere Entwicklung der Sonne. In den nächsten ca. 8 Milliarden Jahren wird sich die Sonne zunächst zu einem Roten Riesen und dann unter erheblichem Massenverlust zu einem Weißen Zwerg entwickeln. Ob und wie Erde und Mond diese Phasen überstehen werden, ist höchst ungewiß.

In seinem Antwortbrief vom 16. Januar 1930 bestätigt Kopff Einstein die Richtigkeit seiner Überlegung. Er zitiert dazu Poincaré. Dann beschreibt Kopff in Worten und mit Hilfe einer Figur, wie man auf anderem Wege quantitative Resultate zur Abbremsung der Erdrotation erzielen kann, indem die Gravitationswirkung der Flutberge auf der Erde auf die Bewegung des Mondes berechnet wird. Kopff fragt sich abschließend noch, warum „man vielfach zu der Auffassung kommt, daß der Mond sich der Erde nähert“. Kopff glaubt, daß das damit zusammenhängt, daß man früher eine Verkürzung der Mondumlaufzeit zu messen glaubte, was aber nur durch die Nichtberücksichtigung der Verlängerung des Tages durch die Gezeitenreibung auf der Erde vorgetäuscht wurde.

Auf Einsteins Bemerkung zur Gezeitenreibung bei Doppelsternen geht Kopff nicht ein, obwohl es dazu bereits Überlegungen gegeben hat. Insbesondere der (in anderem Zusammenhang aber sehr umstrittene) amerikanische Astronom See<sup>86</sup> hatte eine Theorie der Entwicklung von Doppelsternsystemen aufgrund von Gezeiteneffekten aufgestellt. Später und noch heute sind enge Doppelsterne eines der Hauptanwendungsgebiete der Theorie der Gezeiten.

---

<sup>86</sup>Thomas Jefferson Jackson See (1866-1962)

Wir wundern uns, warum Kopff in seinem Brief nicht die besonders relevanten Arbeiten des Engländers G. H. Darwin<sup>87</sup> zitiert. Vor allem dessen allgemein verständlich gehaltenes Buch über Gezeiten (Darwin 1898, 1901, 1911a) wäre ein guter Einstieg in die von Einstein angeschnittenen Fragen gewesen. 1902 war sogar die erste deutsche Übersetzung des Werkes erschienen (Darwin 1902)<sup>88</sup>. Kopff kannte das Werk von Darwin ganz sicher. Die erste deutsche Übersetzung (Darwin 1902) war in der Bibliothek des Astronomischen Rechen-Instituts vorhanden, denn noch heute befindet sich das entsprechende Buch in der Bibliothek des Instituts und trägt den Besitzstempel „Bibliothek des Königl[ichen] Astronomischen Recheninstitutes Berlin“<sup>89</sup>.

In seinem zweiten Brief an Kopff fragt Einstein, ob (in Analogie zum Erde-Mond-System) die Wirkung der Gezeitenreibung auch für die Bahnen der Planeten im Sonnensystem untersucht worden sei. Einstein hält es für möglich, daß die große Ausdehnung des Sonnensystems auf Gezeitenwirkungen zurückzuführen sei. Einstein hat dabei offensichtlich diejenigen Gezeiten im Auge, die ein Planet auf der Sonne hervorruft. Da die Stärke der Gezeitenreibung auf der Sonne unbekannt ist, schlägt Einstein vor, diese empirisch zu bestimmen. Er denkt dabei an noch ungeklärte zeitliche Änderungen in der Bahn der Venus. Hätte man eine solche Bestimmung der Stärke der Gezeitenreibung auf der Sonne, dann könnte man eine Abschätzung des Alters der einzelnen Planeten geben.

Aus dem kurzen Briefftext wird nicht klar, welche genauen Vorstellungen Einstein von der Bildung und der Entwicklung des Planetensystems hatte. Zwar gab es seit langer Zeit Theorien dazu (berühmt sind die von Laplace und Kant); sie waren aber alle nicht überzeugend. In dem von Kopff herausgegebenen Lehrbuchband (Kopff 1928) schreibt H. Kienle in seinem Artikel über Probleme der Kosmogonie in § 5: „... ist gerade die Theorie der Entstehung unseres Sonnensystems heute in einem hoffnungsloseren Zustand denn je.“

Wir vermuten, daß Einstein damals hinsichtlich der Entwicklung des Planetensystems von folgendem Szenario ausging: Ein Planet ist auf irgendeine Weise im Innern des Planetensystems (d.h. in der Nähe der Sonne) entstanden. Durch die Reibung der Gezeiten in der Sonne, die der Planet gravitativ verursacht, wird die Rotation der Sonne abgebremst. Analog zum Erde-Mond-System führt die Übertragung von Drehimpuls von der Sonne auf den Bahn-

---

<sup>87</sup>George Howard Darwin (1845-1912). Er war der zweite Sohn des Evolutionstheoretikers Charles Darwin (1809-1882).

<sup>88</sup>Die zweite Auflage der deutschen Übersetzung erschien 1911 (Darwin 1911b). Übersetzerin war für beide Auflagen die Physikerin Agnes Pockels (1862-1935). Sie war die Schwester von Friedrich Pockels (1865-1913), der von 1900 bis 1913 als außerordentlicher Professor für Theoretische Physik an der Universität Heidelberg wirkte und den wir in den Kapiteln 4.1 und 4.3.6 wegen seiner Lehrveranstaltungen zur Relativitätstheorie erwähnt haben.

<sup>89</sup>Das Buch ist eines der wenigen Bücher, die aus Berlin mit nach Heidelberg genommen wurden

drehimpuls des Planeten zu einer stetigen Vergrößerung seines Abstandes von der Sonne. Je älter ein Planet ist, um so weiter hat er sich bis heute bereits von der Sonne entfernt. Aus dem heutigen Abstand des Planeten von der Sonne und der empirischen Bestimmung der Stärke der Gezeitenreibung könnte man abschätzen, wie lange der Prozeß bereits gedauert hat, und hätte damit einen Anhaltspunkt für das individuelle Alter des jeweiligen Planeten. Der damals noch (und heute wieder) äußerste Planet, Neptun, wäre in diesem Szenario der älteste Planet. Merkur wäre der jüngste.

Das oben beschriebene Szenario setzt im Grunde voraus, daß zu allen Zeiten (zumindest in Vergangenheit und Gegenwart) die Alterswerte der einzelnen Planeten monoton mit den gerade erreichten Bahnradien  $a$  der Planeten ansteigen. Denn sonst käme es zu „Überholvorgängen“ zwischen Planeten, die wegen der dabei auftretenden, starken gravitativen Störungen die Bahnen der beteiligten Planeten völlig verändern würden. In einem einfachen, von uns untersuchten Modell des Vorgangs, bei dem Kreisbahnen vorausgesetzt werden und in dem angenommen wird, daß die Anwachsrate des Bahn-Radius  $a(t)$  mit der Zeit  $t$ ,  $da/dt$ , proportional zur Planetenmasse  $m_{pl}$  und zu  $a^{-\frac{11}{2}}$  ist, tritt in der Vergangenheit nur ein einziger Überholvorgang auf: Dem massereichen Jupiter wird ein heutiges Alter<sup>90</sup> zugeschrieben, das etwas kleiner ist als das des inneren Planeten Mars.

Wir haben heute völlig andere Vorstellungen von der Entstehung der Planeten und der Entwicklung ihrer Bahnen. Die meisten Astronomen gehen davon aus, daß die Planeten gleichzeitig mit der Sonne bzw. dem Stern aus einer Gas-Staub-Wolke entstanden sind. Die Planeten haben sich danach in einer sogenannten „Akkretionsscheibe“, die die Sonne bzw. den Stern umgibt, über Zwischenstufen (den sogenannten „Planetesimals“) gebildet. Die Entdeckung zahlreicher Exoplaneten hat die Theorie einerseits durch das dadurch verfügbar gewordene Beobachtungsmaterial gefördert. Andererseits nötigt die große Vielfalt extrasolarer Planeten und Planetensysteme der Theorie auch eine erhöhte Flexibilität ab, um sich den unterschiedlichen Gegebenheiten bei der Entstehung eines Sterns und seiner Planeten hinreichend anpassen zu können. Für einen Überblick dazu verweisen wir auf das Handbuch von Perryman (2011, insbesondere Kapitel 10 (Formation and Evolution)).

Kopff beantwortet den zweiten Brief von Einstein nach einer Überlegungszeit von über einer Woche am 30. Januar 1930. Kopff schreibt Einstein, daß auf die Zunahme der Entfernungen der Planeten durch die Gezeitenreibung zwar schon öfter in der Literatur hingewiesen worden sei. Zahlenwerte dafür seien ihm aber nicht begegnet und auch kaum zu berechnen. Dies stimmt insofern, als Zahlen nicht genannt werden. Aber qualitativ wird der Effekt in der

---

<sup>90</sup>Das heutige Alter  $T$  eines Planeten ergibt sich in diesem einfachen Modell zu  $T = a^{13/2}/m_{pl}$ , wenn man das Alter  $T$  in Einheiten des Erdalters,  $a$  in Astronomischen Einheiten, und  $m_{pl}$  in Erdmassen mißt. Siehe auch Kaula (1968, S. 202).

Literatur als vernachlässigbar klassifiziert. So schreibt zum Beispiel Darwin (1911a, S. 293): „It is improbable, in fact, that the year is, from this cause [*d.h. der Gezeitenreibung auf der Sonne*] at any rate, longer by more than a few seconds than it was at the very birth of the solar system.“<sup>91</sup>. Auch aus der modernen Literatur sind uns keine quantitativen Angaben über den Einfluß der Gezeitenreibung auf der Sonne auf die heutigen Bahnen der Planeten bekannt. Es ist aber sicher, daß er äußerst klein ist und Einsteins vermutetes Szenario daher nicht der Wirklichkeit entspricht.

Im zweiten Teil seines Briefes weist Kopff auf Arbeiten von de Sitter hin<sup>92</sup>, wonach gewisse Unstimmigkeiten in der Veränderung der Umlaufperioden von Merkur und Venus auf eine fehlerhafte Zeitskala zurückzuführen seien. Kopff schließt mit der Feststellung, daß es keine Beobachtungen gäbe, die auf einen merklichen Einfluß der Gezeitenreibung auf der Sonne auf die Bewegung der Planeten hinweisen würden.

In seinem dritten Brief an Kopff weist Einstein darauf hin, daß er eine Unstimmigkeit in der zeitlichen Veränderung eines geometrischen Bahnelements der Venus gemeint habe (und nicht in der Umlaufperiode). Einstein bittet Kopff zu prüfen, ob nicht die Gezeitenreibung auf der Sonne diese Unstimmigkeit erklären könnte.

Einstein bezieht sich hier auf eine damals vorhandene, signifikante Diskrepanz zwischen der himmelsmechanisch vorhergesagten, zeitlichen Änderung der Lage des Knotens<sup>93</sup> der Venusbahn und den Beobachtungen. Diese Diskrepanz hatte Newcomb gefunden und de Sitter (1916b) bestätigt. Die Diskrepanz wurde später (Duncombe 1956) beseitigt, ohne Gezeitenreibung zu Hilfe nehmen zu müssen.

Kopff hatte in seinem zweiten Brief aber zurecht eventuell vorhandene Fehler in der zeitlichen Änderung der Perioden von Merkur und Venus diskutiert. Denn der Effekt einer Gezeitenreibung wäre dort viel größer als in den Veränderungen der geometrischen Bahnelemente (wie z.B. der Knotenlinie).

Wie und mit welchem Resultat Einstein und Kopff ihre Diskussionen weitergeführt haben, ist ungewiß. Da keine weiteren Briefe vorliegen, wurde der Gedankenaustausch vermutlich mündlich fortgesetzt (siehe dazu auch Kapitel 7.5). Soweit wir wissen, haben die in den Briefen angesprochenen Fragen keinen Niederschlag in entsprechenden Veröffentlichungen von Einstein oder von Kopff gefunden.

---

<sup>91</sup>In der Übersetzung von Pockels (Darwin 1902, S. 260): „Es ist in der That unwahrscheinlich, daß das Jahr, aus dieser Ursache wenigstens, um mehr als einige Sekunden länger ist, als es bei der [ersten] Entstehung des Sonnensystems war.“

<sup>92</sup>Kopff bezieht sich hier offenbar vor allem auf die Arbeit von de Sitter von 1927

<sup>93</sup>Der Knoten einer Planetenbahn ist die Schnittlinie zwischen der Ebene der Planetenbahn und der Ekliptik (d.h. der Ebene der Erdbahn)

Im Grunde hätte Einstein die Antworten auf die von ihm an Kopff gestellten Fragen auch aus der vorhandenen Literatur entnehmen können. Es war aber natürlich einfacher, schneller und sicherer, sich an einen Fachmann wie Kopff zu wenden. Und Kopff war offensichtlich gerne bereit, Einstein in diesen Fragen behilflich zu sein.

Heute ist die Frage der Gezeitenwirkung auf die Entwicklung der Bahnen von Planeten durch die Entdeckung extrasolarer Planeten („Exoplaneten“), die um andere Sterne kreisen, wieder besonders aktuell geworden. Wir können hier nicht auf diese Entwicklung eingehen und verweisen auf die umfangreiche Literatur. Einen sehr guten Überblick über die Frage von Gezeitenwirkungen auf Exoplaneten und auf ihre Bahnen gibt Perryman (2011, insbesondere in seinem Kapitel 10.9 (Tidal Effects)).

## 7 Texte und Scans des Briefwechsels zwischen Einstein und Kopff

### 7.1 Einsteins Brief an Kopff vom 13. Januar 1930

*Beschreibung:* Das Original dieses Briefes liegt im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts leider nicht vor. In den Albert-Einstein-Archives in Jerusalem befindet sich aber der Durchschlag des maschinengeschriebenen Briefes. Der Durchschlag trägt dort die Archival Call Number 14-309. Uns liegt eine schwarz-weiße Papierkopie vor, die von einer Mikrofilmaufnahme des Durchschlags hergestellt wurde. Der Text ist gut lesbar. Der Durchschlag ist ohne Brief-Kopf und ohne Einsteins Unterschrift.

*Kommentar:* In dem Brief begründet Einstein seine Anfrage an Kopff damit, daß ihn „ein kleiner Junge aus Posen“<sup>94</sup> brieflich gefragt habe, ob der Mond irgendwann auf die Erde herabstürzen würde. Wir konnten in der Datenbank des Albert-Einstein-Archivs weder diesen Brief aus Posen noch eine Antwort Einsteins finden. Gerade der Inhalt des Antwortbriefes von Einstein an den Jungen wäre sehr interessant, weil dort Einstein vielleicht das Resultat seiner eigenen Überlegungen oder die Ergebnisse der Diskussionen mit Kopff in kurzer und einfacher Weise zusammengefaßt hat. Da wir keinen Grund haben, an der Existenz des Briefes des Jungen zu zweifeln, und Einstein solche Anfragen auch meist beantwortete, entsteht die Frage nach dem Verbleib dieser Schriftstücke. Vielleicht hat Einsteins Sekretärin Helene Dukas die Korrespondenz mit dem Jungen schon 1930 nicht aufbewahrt oder aber nach Einsteins Tod als „nicht archivwürdig“ ausgesondert.

Bezüglich des wissenschaftlichen Inhalts des Briefs verweisen wir auf unsere Ausführungen in Kapitel 6.3.

---

<sup>94</sup>Posen (polnisch: Poznań) gehörte seit 1793 zu Preußen und damit ab 1871 auch zum Deutschen Reich. Nach dem Ende des Ersten Weltkriegs wurde es an Polen angegliedert. Unklar ist, ob Einstein die Stadt Posen oder die Provinz Posen meint.

**Volltext:**

[*Durchschlag:*]

den 13. Januar 1930

Herrn Professor Dr. K o p f f  
Astronomisches Recheninstitut  
D a h l e m

Lieber Herr Kollege !

Wahrscheinlich wird das, was ich Ihnen hier mitteile, schon bekannt sein.  
Ich frage Sie nur aus Vorsicht.

Ein kleiner Junge aus Posen fragte mich brieflich, ob es wahr sei, dass der Mond nach einer gewissen Zeit auf die Erde stürzen müsse. Diesem Gerücht muss wohl die Ansicht zugrunde liegen, dass die Gezeitenbewegung verzögernd auf die Umlaufbewegung des Mondes wirke. Da fällt es mir auf, dass diese Wirkung ja umgekehrt in einer Beschleunigung der Mondbewegung besteh[e]n muss, indem sich die Winkelgeschwindigkeiten der Mondbewegung und der Erddrehung einander anzugleichen streben. Der Mond muss sich also allmählich von der Erde entfernen auf Kosten der Energie der Erdrotation. Die analoge Ursache muss wohl auch bei anderen Doppelsternsystemen vorhanden sein.

Es grüsst Sie freundlich

Ihr

[Dieser Brief ist urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt bei den Albert Einstein Archives der Hebrew University of Jerusalem.]

## 7.2 Kopffs Brief an Einstein vom 16. Januar 1930

*Beschreibung:* Das Original dieses Briefes liegt in den Albert-Einstein-Archives in Jerusalem. Der Brief trägt dort die Archival Call Number 14-310. Uns liegt eine schwarz-weiße Papierkopie vor, die von einer Mikrofilmaufnahme des Briefes hergestellt wurde. Der Text ist gut lesbar. Im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts befindet sich leider weder ein Durchschlag noch ein handschriftliches Konzept des Briefes.

*Kommentar:* Bezüglich des wissenschaftlichen Inhalts des Briefs verweisen wir auf unsere Ausführungen in Kapitel 6.3.

Volltext:

ASTRONOMISCHES RECHEN-INSTITUT

FERNSPRECHER: G 6 BREITENBACH 0625

Berlin-Dahlem, den 16. Jan[uar] 1930.  
Altenstein-Str. 40

Sehr verehrter Herr Prof. Einstein!

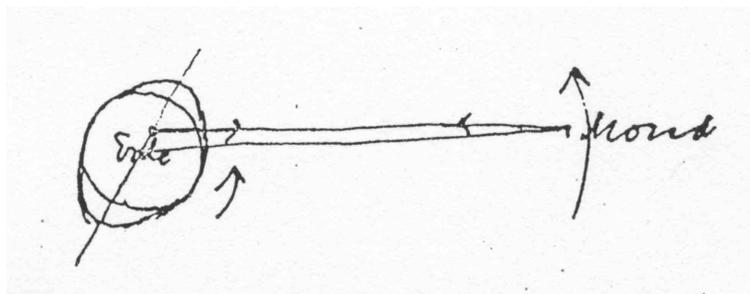
Die Überlegung, daß der Mond sich auf Kosten der Energie der Erdrotation von der Erde entfernt, findet sich [*handschriftlich eingefügt*: in der von Ihnen gegebenen Form] schon bei Poincaré. Man kommt zu demselben Ergebnis auch auf anderem Weg. Der dem Mond zugewandte Flutberg eilt infolge der Reibungskräfte bei der Erdrotation der Mondbewegung vorher (siehe Figur). Es kommt also zu einer Beschleunigungskomponente in der Richtung der Mondbewegung. Wie man vielfach zu der Auffassung kommt, daß der Mond sich der Erde nähert, ist mir nicht ganz klar. Es sind vielleicht noch Rudimente aus früherer Zeit, wo man eine Akzeleration des Mondes aus den Beobachtungen festzustellen glaubte. Da die Erdrotation eine säkulare Verlangsamung erfährt, so war diese Akzeleration infolge der Annahme eines konstanten Tages nur vorgetauscht. In Wirklichkeit ist eine Retardation des Mondes festzustellen.

Mit ergebensten Empfehlungen

Ihres

A. Kopff

[Hier hat Kopff eine von Hand gezeichnete Figur eingefügt:]



[Dieser Brief ist urheberrechtlich geschützt. Das Original befindet sich in den Albert Einstein Archives der Hebrew University of Jerusalem.]

### 7.3 Einsteins Brief an Kopff vom 20. Januar 1930

*Beschreibung:* Der vorliegende Original-Brief wurde von R.W. um 1990 im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts in einer Mappe mit der Aufschrift „XX. Wissenschaftl[iche] Auskünfte“ aufgefunden. In Mappen dieser Art wurden im Institut die Schriftstücke lose und ungelocht abgelegt (siehe Kapitel 10.A.2 von Wielen R. und Wielen U. 2012a). Der Brief ist auch heute noch ohne Abheftlochung. Rechts oben auf den Brief hat Kopff mit Bleistift die Zahl „20“ geschrieben. Das war sein Hinweis darauf, daß der Brief in der erwähnten Mappe mit der Nummer XX = 20 abgelegt werden sollte. In den Albert-Einstein-Archives in Jerusalem befindet sich der Durchschlag des Briefes. Der Durchschlag trägt dort die Archival Call Number 14-311. Eine vom Institut zur Verfügung gestellte Farbkopie des originalen Briefes trägt dort die Archival Call Number 122-978.

Maschinenschriftlicher Brief auf Kopfbogen. Farbe der Maschinenschrift: violett. Die eigenhändige Unterschrift erfolgte mit blauer Tinte. 1 Blatt (1 Seite beschrieben). 22,4 cm breit, 28,5 cm hoch. Weißes Papier, minimal gebräunt, mit schwachem Wasserzeichen: in großem Kreis in der Mitte HH (miteinander verbunden), oben HOCHFEIN, ferner senkrechte Steglinien im Abstand von 25 mm. Erhaltungszustand sehr gut. Absender: ALBERT EINSTEIN, Berlin W, Haberlandstr. 5. Unterschrift: A. Einstein. Empfänger: Herrn Professor Dr. A. Kopff, Astronomisches Rechen-Institut, Berlin-Dahlem, Altensteinstr. 40. Am Beginn der letzten Zeile des eigentlichen Briefftextes hat Einstein mit Bleistift eine Korrektur vorgenommen: Aus der versehentlichen „Ruheabschätzung“ wurde richtigerweise „rohe Abschätzung“. Auf dem Durchschlag des Briefes im Einsteinarchiv fehlt diese Korrektur eventuell.

*Kommentar:* Die von Einstein handschriftlich vorgenommene, oben beschriebene Korrektur läßt darauf schließen, daß Einstein den Brief seiner Sekretärin Helene Dukas<sup>95</sup> diktiert hat. Sie hat offenbar seine entsprechenden Worte mißverstanden, weil die falsche und die richtige Version ganz ähnlich klingen.

Bezüglich des wissenschaftlichen Inhalts des Briefs verweisen wir auf unsere Ausführungen in Kapitel 6.3.

---

<sup>95</sup>Helene Dukas (1896-1982) war seit April 1928 Einsteins Sekretärin. Später änderte sie ihren Vornamen in „Helen“.

**Volltext:**

[*In der oberen rechten Ecke handschriftlicher Zusatz von Kopff:*] 20

ALBERT EINSTEIN

BERLIN W, den 20. Januar 1930  
HABERLANDSTR. 5

Herrn Professor Dr. A. Kopff  
Astronomisches Rechen-Institut  
Berlin-Dahlem, Altensteinstr. 40

Lieber Herr Kollege!

Ich danke Ihnen sehr für Ihre freundliche Antwort. Ich möchte nun aber weiter fragen, ob dasselbe Prinzip auch auf die Planeten gegenüber der Sonne angewandt worden ist. Ich glaube nämlich, dass die grosse Ausdehnung des Sonnensystems auf die selbe Ursache zurückzuführen ist. Nun ist ja zweifellos die Flutreibung der Sonne unbekannt. Die Grösse des Phänomens müsste also aus einem Beispiel eruiert werden. Bei der Venus besteht, soviel ich mich erinnere, noch eine kleine unerklärte Säkularbewegung. Könnte diese vielleicht durch ein Flutreibungsmoment erklärt werden, dessen Achse ja praktisch mit der Rotationsachse der Sonne zusammenfallen müsste? Wäre dies der Fall, so könnte man eine [*zunächst: Ruheabschätzung*] [*handschriftlich verbessert in: rohe Abschätzung*] des Alters der einzelnen Planeten geben.

Mit freundlichem Gruss

Ihr

A. Einstein.

[Dieser Brief ist urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt bei den Albert Einstein Archives der Hebrew University of Jerusalem. Das Original des Briefs befindet sich im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts.]

20

ALBERT EINSTEIN

BERLIN W, den 20. Januar 1930  
HABERLANDSTR. 5

Herrn Professor Dr. A. Kopff  
Astronomisches Rechen-Institut  
Berlin-Dahlem, Altensteinstr. 40

Lieber Herr Kollege!

Ich danke Ihnen sehr für Ihre freundliche Antwort. Ich möchte nun aber weiter fragen, ob dasselbe Prinzip auch auf die Planeten gegenüber der Sonne angewandt worden ist. Ich glaube nämlich, dass die grosse Ausdehnung des Sonnensystems auf die selbe Ursache zurückzuführen ist. Nun ist ja zweifellos die Flutreibung der Sonne unbekannt. Die Grösse des Phänomens müsste also aus einem Beispiel eruiert werden. Bei der Venus besteht, soviel ich mich erinnere, noch eine kleine unerklärte Säkularbewegung. Könnte diese vielleicht durch ein Flutreibungsmoment erklärt werden, dessen Achse ja praktisch mit der Rotationsachse der Sonne zusammenfallen müsste? Wäre dies der Fall, so könnte man eine <sup>rohe für</sup> Ruheabschätzung des Alters der einzelnen Planeten geben.

Mit freundlichem Gruss

Ihr

A. Einstein.

Fig. 69. Scan der Seite 1 des Briefs von Einstein an Kopff vom 20. Januar 1930.

Dieser Brief ist urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt bei den Albert Einstein Archives der Hebrew University of Jerusalem. Das Original des Briefs befindet sich im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts.

## 7.4 Kopffs Brief an Einstein vom 30. Januar 1930

*Beschreibung:* Das Original dieses Briefes liegt in den Albert-Einstein-Archives in Jerusalem. Der Brief trägt dort die Archival Call Number 14-312. Uns liegt eine schwarz-weiße Papierkopie vor, die von einer Mikrofilmaufnahme des Briefes hergestellt wurde. Der Text ist gut lesbar. Im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts befindet sich leider weder ein Durchschlag noch ein handschriftliches Konzept des Briefes.

*Kommentar:* Bezüglich des wissenschaftlichen Inhalts des Briefs verweisen wir auf unsere Ausführungen in Kapitel 6.3.

**Volltext:**

ASTRONOMISCHES RECHEN-INSTITUT

FERNSPRECHER: G 6 BREITENBACH 0625

Berlin-Dahlem, den 30. Jan[uar] 1930.  
Altenstein-Str. 40

Sehr verehrter Herr Prof. Einstein!

Auf die Möglichkeit der Zunahme der Entfernung der Körper des Sonnensystems infolge der Flutreibung der Sonne ist in kosmogonischen Überlegungen wiederholt hingewiesen worden. Ich finde aber nirgends den Versuch einer zahlenmäßigen Erfassung der Erscheinung und weiß auch nicht recht, wie man die Aufgabe anfassen sollte, da man ganz auf Hypothesen angewiesen ist. Auch für den gegenwärtigen Zustand des Sonnensystems bleibt die Frage nach einer Flutwirkung der Sonne ganz offen. Durch die Untersuchungen von de Sitter z.B. ist es doch wahrscheinlich geworden, daß die kleinen empirischen Reste in der säkularen Änderung der Länge bei Merkur und Venus eher durch die Veränderung unserer empirischen Zeit erklärt werden können. Es fehlt an Beobachtungstatsachen, die auf einen merklichen Betrag einer Flutreibung bei der Sonne hinweisen würden.

Mit ergebensten Empfehlungen

Ihres

A. Kopff

[Dieser Brief ist urheberrechtlich geschützt. Das Original befindet sich in den Albert Einstein Archives der Hebrew University of Jerusalem.]

## 7.5 Einsteins Brief an Kopff vom 31. Januar 1930

*Beschreibung:* Der vorliegende Original-Brief wurde von R.W. um 1990 im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts in einer Mappe mit der Aufschrift „XX. Wissenschaftl[iche] Auskünfte“ aufgefunden. In Mappen dieser Art wurden im Institut die Schriftstücke lose und ungelocht abgelegt (siehe Kapitel 10.A.2 von Wielen R. und Wielen U. 2012a). Der Brief ist auch heute noch ohne Abheftlochung. Rechts oben auf den Brief hat Kopff mit Bleistift die Zahl „20“ geschrieben. Das war sein Hinweis darauf, daß der Brief in der erwähnten Mappe mit der Nummer XX = 20 abgelegt werden sollte. In den Albert-Einstein-Archives in Jerusalem befindet sich der Durchschlag des Briefes. Der Durchschlag trägt dort die Archival Call Number 14-313. Eine vom Institut zur Verfügung gestellte Farbkopie des originalen Briefes trägt dort die Archival Call Number 122-979.

Maschinenschriftlicher Brief auf Kopfbogen. Farbe der Maschinenschrift: violett. Die eigenhändige Unterschrift erfolgte mit blauer Tinte. 1 Blatt (1 Seite beschrieben). 22,4 cm breit, 28,5 cm hoch. Weißes Papier, minimal gebräunt, mit schwachem Wasserzeichen: in großem Kreis in der Mitte HH (miteinander verbunden), oben HOCHFEIN, ferner senkrechte Steglinien im Abstand von 25 mm. Erhaltungszustand sehr gut. Absender: ALBERT EINSTEIN, Berlin W, Haberlandstr. 5. Unterschrift: A. Einstein. Empfänger: Herrn Professor Dr. Kopff, Astronomisches Rechen-Institut, Berlin-Dahlem, Altensteinstr. 40. Am Ende der vorletzten Zeile des eigentlichen Briefftextes hat Einstein mit Bleistift eine Korrektur vorgenommen: An das Wort „freundlich“ wurde das fehlende „h“ angehängt. Auf den Brief hat Kopff unten mit Bleistift geschrieben: „Mo[ntag] und Do[nnerstag] vormittags nicht“.

*Kommentar:* Die Notiz Kopffs unten auf dem Brief deutet darauf hin, daß sich Einstein und Kopff zu einem Gespräch treffen wollten. Am Ende des vorliegenden Briefes bittet Einstein Kopff um weitere Informationen. Daher kann dieser Brief vom 31. Januar 1930 kaum das Ende ihrer Diskussion bedeuten haben. Vielmehr wird der weitere Gedankenaustausch mündlich erfolgt sein. Im Einsteinarchiv und im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts liegt jedenfalls kein weiterer Schriftwechsel zwischen Einstein und Kopff vor.

Woher Kopff die Information hatte, daß Montag und Donnerstag vormittags für ein Gespräch nicht in Frage kommen, wissen wir nicht. Wir gehen davon aus, daß Einstein an diesen Tagen verhindert war. Kopff hat dies wohl entweder von Einstein selbst oder telefonisch von Einsteins Sekretärin Helene Dukas bzw. von einem Mitglied der Familie Einsteins erfahren.

Montag und Donnerstag waren traditionell Sitzungstage der Preußischen Akademie der Wissenschaften, der Einstein als Mitglied angehörte (Kopff wurde erst 1936 Akademiemitglied). Am Montag tagte die physikalisch-mathema-

tische Klasse der Akademie. Einstein hat u.a. an deren Sitzungen am 6. Februar, 20. Februar und 6. März 1930 teilgenommen. Die Sitzungen des Plenums der Akademie fanden u.a. am 13. März und 27. März 1930 statt. Vielleicht suchte Einstein aber auch aus anderen Gründen oft montags und donnerstags die Akademie auf. Wann Kopff seine Vorlesungen im Wintersemester 1929/30 gehalten hat, wissen wir nicht (später meist Mittwochs).

Wann und wo sich Einstein und Kopff zu einem Gespräch treffen wollten, ist uns nicht bekannt. Am plausibelsten würde uns das Astronomische Rechen-Institut erscheinen, da dort Kopff alle notwendige Literatur zur Beantwortung der Fragen Einsteins griffbereit hatte. Einstein hatte sicher häufiger in Dahlem zu tun. Die Kaiser-Wilhelm-Institute für Chemie und für Physikalische Chemie und Elektrochemie befanden sich beide in der Nähe des Astronomischen Rechen-Instituts.

Bezüglich des wissenschaftlichen Inhalts des Briefs verweisen wir auf unsere Ausführungen in Kapitel 6.3.

**Volltext:**

*[In der oberen rechten Ecke handschriftlicher Zusatz von Kopff:]* 20

ALBERT EINSTEIN

BERLIN W, den 31[.] Januar 1930  
HABERLANDSTR. 5

Herrn Professor Dr. Kopff  
Astronomisches Rechen-Institut  
Berlin-Dahlem, Altensteinstr. 40

Lieber Herr Kollege!

Ich danke Ihnen freundlichst für Ihren Brief. Soviel ich mich erinnere, handelt es sich bei Venus um unerklärte Reste bezüglich der geometrischen Bahnelemente. Ich weiss aber nicht mehr genau, welche. Die Frage ist, ob diese durch eine Kraft erklärt werden können, deren Drehmoment bezüglich des Sonnenmittelpunktes die Richtung der Rotationsachse der Sonne hat. Wäre dies nämlich der Fall, so könnte man hieraus die in Betracht kommende Konstante der Flutreibung berechnen und hieraus dann wieder die Wirkung auf alle Planeten. Es wäre sehr freundlich von Ihnen, wenn Sie dies nachsehen wollten.

Mit freundlichem Gruss

Ihr

A. Einstein.

*[Handschriftlicher Zusatz von Kopff:]*  
Mo[ntag] und Do[nnerstag] vormittags nicht

ALBERT EINSTEIN

20  
BERLIN W. den 31. Januar 1930  
HABERLANDSTR. 5

Herrn Professor Dr. Kopff  
Astronomisches Rechen-Institut  
Berlin-Dahlem, Altensteinstr. 40

Sehr geehrter Herr Kollege!

Ich danke Ihnen freundlichst für Ihren Brief. Soviel ich mich erinnere, handelt es sich bei Venus um unerklärte Reste bezüglich der geometrischen Bahnelemente. Ich weiss aber nicht mehr genau, welche. Die Frage ist, ob diese durch eine Kraft erklärt werden können, deren Drehmoment bezüglich des Sonnenmittelpunktes die Richtung der Rotationsachse der Sonne hat. Wäre dies nämlich der Fall, so könnte man hieraus die in Betracht kommende Konstante der Flutreibung berechnen und hieraus dann wieder die Wirkung auf alle Planeten. Es wäre sehr freundlich von Ihnen, wenn Sie dies nachsehen wollten.

Mit freundlichem Gruss

Ihr

A. Einstein.

*Mo wird so vormitags nicht*

Fig. 70. Scan der Seite 1 des Briefs von Einstein an Kopff vom 31. Januar 1930

Dieser Brief ist urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt bei den Albert Einstein Archives der Hebrew University of Jerusalem. Das Original des Briefs befindet sich im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts.

## 8 Anhang

### 8.1 Hörer der Kopffschen Vorlesungen über Relativitätstheorie

Wir fanden es interessant zu untersuchen, welche Studenten die Vorlesungen von Kopff über Relativitätstheorie belegten. Die Zahlungslisten der Quästur der Universität Heidelberg führen die Hörer namentlich auf. Viele der Hörer haben später eine wissenschaftliche Karriere gemacht; einer (Emil Rupp) ist aber auch sehr unrühmlich in die Geschichte der Wissenschaft eingegangen. Zu vielen der Studenten konnten wir nähere Angaben finden.

#### 8.1.1 Hörer der Vorlesung im Wintersemester 1919/20

Die Vorlesung „Relativitätstheorie“ im Wintersemester 1919/20 (siehe Kapitel 4.3.1) belegten 17 Hörer, darunter 5 Studentinnen. Zu folgenden 13 Personen haben wir zusätzlich zu ihrem Namen weitere Informationen ermitteln können:

Paul Baumann (1897-1976) studierte Chemie und Physik. Er promovierte 1923 in Heidelberg bei Lenard mit einer Arbeit zur „Diffusion langsamer Kathodenstrahlen in Gasen“. Später war er in der chemischen Industrie tätig und wurde 1950 zum Honorarprofessor der Universität Münster ernannt.

Egon Blumenthal (1900-?) studierte in Heidelberg Mathematik, Physik und Chemie. 1929 promovierte er an der Universität Greifswald mit einer physikalischen Arbeit.

Robert Eckert studierte Mathematik und Naturwissenschaften und promovierte in Heidelberg 1924 über „Die Milcherzeugung und die Milchversorgung in Baden“.

Käthe Gerard (1896-?) studierte Physik, Mathematik und Mineralogie in Heidelberg. Von 1918 bis 1920 war sie Assistentin am Physikalischen Institut der Universität Heidelberg. Sie promovierte hier 1922 mit einer Arbeit „Über die Kupferbanden der Erdalkalisulfid-Phosphore“ bei Lenard.

Dr. Anna Hamburger (1873-1942) hatte 1906 in Breslau in Chemie promoviert. Später war sie als Lehrerin an einem Gymnasium in Mannheim tätig. Sie verstarb in den USA.

Heinz Hopf (1894-1971) ist wohl der bedeutendste Wissenschaftler, der diese Vorlesung gehört hat. Er studierte damals Mathematik in Heidelberg. 1925

promovierte er in Berlin mit einer Arbeit über Differentialgeometrie und Topologie. Von 1931 bis zu seiner Emeritierung war er als Nachfolger von Hermann Weyl Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich. Besonders bekannt sind seine Arbeiten zur algebraischen Topologie.

Wolfgang Malsch (1900-1986) studierte in Heidelberg zunächst Astronomie und arbeitete bei Max Wolf an der Sternwarte auf dem Königstuhl. Später wechselte er zur Meteorologie und promovierte 1923 an der Heidelberger Universität über „Die Schneeeverhältnisse in Baden“. Bis 1965 leitete er als Oberregierungsrat das Wetteramt Nordbaden in Karlsruhe.

Hans Ferdinand Mayer (1895-1980) promovierte 1920 in Heidelberg bei Lenard mit einem Thema aus der Experimentalphysik. Ab 1922 arbeitete er in Berlin bei der Firma Siemens und Halske. Er verfaßte 1939 anonym den sogenannten „Oslo-Report“. Von 1943 bis 1945 befand er sich in KZ-Haft. 1946 bis 1950 forschte und lehrte er als Professor in den USA. Nach seiner Rückkehr nach Deutschland war er bis 1962 Leiter einer Forschungsabteilung bei Siemens und Halske in München.

Otto Polensky (1895-?) promovierte 1921 an der Universität zu Köln mit einer mathematik-geschichtlichen Arbeit „Über die Entwicklung der Reihenlehre“, die der Mathematiker Bopp in Heidelberg angeregt hatte. Später war er Professor am Staatstechnikum (Badische Höhere Technische Lehranstalt) in Karlsruhe.

Emil Rupp (1898-1979) studierte in Göttingen und in Heidelberg Physik. 1922 promovierte er bei Lenard mit einer Arbeit „Über erregende Absorption und Tilgung der Phosphore“. 1926 habilitierte er sich in Heidelberg. Seine Habilitationsschrift beschäftigte sich mit „Interferenzuntersuchungen an Kanalstrahlen“. Die Arbeit schien einen Beitrag zur Klärung des Welle-Teilchen-Dualismus der Photonen zu liefern. Einstein wurde dadurch zu Vorschlägen für weitere Experimente in dieser Richtung angeregt und legte eine Arbeit von Rupp der Berliner Akademie vor. Rupp veröffentlichte in der Folgezeit, in der er als Industriephysiker bei der AEG in Berlin arbeitete, eine Reihe weiterer aufsehenerregender experimenteller Arbeiten. Andere Physiker waren aber nicht in der Lage, seine Ergebnisse nachzuvollziehen. Es stellte sich heraus, daß Rupp seine Ergebnisse weitgehend gefälscht hatte. Rupp selbst publizierte 1935 in der Zeitschrift für Physik (Band 95, S. 851) eine Mitteilung, wonach er eine Reihe seiner Veröffentlichungen zurückziehe. Er zitiert dabei ein Gutachten eines Psychologen, das ihm eine psychische Krankheit attestiert, wodurch Rupps „Arbeiten den Charakter von Fiktionen an sich tragen“. Einzelheiten zum Fall Rupp findet man z.B. bei French (1999) und van Dongen (2007). Siehe auch Schirmmacher (2010, S. 239 ff).

Zerline Unna (später: Kohn-Unna; 1900-1987) hat 1926 in Freiburg i. B. in Biochemie promoviert. Später wanderte sie nach Palästina aus.

Richard von Dallwitz-Wegner (1873-1945) war kein Student mehr, sondern offenbar Gasthörer. Er hatte bereits 1905 an der Universität Zürich promoviert. In den Heidelberger Adressbüchern (z.T. „Stadtbuch“) für 1916 bis 1920 ist er als „Wegner von Dallwitz, Richard, Dr. phil. Dipl.-Ing., Physiker und Zivilingenieur“ aufgeführt. Er hat zahlreiche Bücher verfaßt, insbesondere zum Flugzeugwesen.

Ernst Zachmann (1894-?) studierte in Heidelberg Physik und Mathematik. Ab 1922 war er Assistent am Physikalischen Institut. 1923 promovierte er bei Lenard. Anschließend war er Assistent bei Carl Ramsauer in Danzig. Später war er im Schuldienst tätig.

Bemerkenswert ist, daß eine Studentin (Gerard) und vier Studenten (Baumann, Mayer, Rupp, Zachmann) Doktoranden von Lenard waren, der ja der Relativitätstheorie 1919 bereits sehr ablehnend gegenüberstand.

Weiter haben die Vorlesung besucht:  
stud. math.<sup>96</sup> et nat.<sup>97</sup> Walter Backes,  
Elisabeth Bender,  
stud. med.<sup>98</sup> Kurt Hofmann,  
stud. math. et nat. Gertrud Römer.

Einige der Hörer, über die wir keine näheren Angaben fanden und die später auch nicht promovierten, strebten vermutlich das Staatsexamen für Gymnasiallehrer an.

Auf dem Gebiet der Relativitätstheorie hat nach unserem Wissen später keiner der Hörer gearbeitet. Nur Heinz Hopf hat als Mathematiker auf einem eng verwandten Gebiet (Differentialgeometrie) geforscht.

### 8.1.2 Hörer der Vorlesung im Sommersemester 1920

Teil II der Vorlesung über Relativitätstheorie im Sommersemester 1920 (siehe Kapitel 4.3.2) belegten 6 Hörer, darunter keine Studentin.

Fünf Hörer hatten auch an der ersten Vorlesung teilgenommen. Es waren: Hoffmann, Hopf, Mayer, von Dallwitz-Wegner, Zachmann.

---

<sup>96</sup>stud. math.: Student der Mathematik

<sup>97</sup>stud. nat.: Student der Naturwissenschaften

<sup>98</sup>stud. med.: Student der Medizin

Neu hinzu kam stud. math. et cam.<sup>99</sup> Alfred Pechau (1892-1942). Er war von 1915 bis 1921 Praktikant an der Heidelberger Sternwarte und promovierte 1921 bei Wolf mit einer astrometrischen Arbeit. Später war er als Dozent an der Fachhochschule Mannheim tätig.

### 8.1.3 Potentielle Hörer der Vorlesung im Sommersemester 1922

Die dann ausgefallene Vorlesung „Einführung in die Relativitätstheorie“ hatten bereits 7 Studenten (darunter zwei Studentinnen) belegt und bezahlt:

Alfred Bohrmann (1904-2000) promovierte 1928 bei Wolf „Über Refraktionsstörungen“. Er war zuletzt Hauptobservator der Heidelberger Sternwarte und außerplanmäßiger Professor an der Universität Heidelberg. Nekrolog: Neckel (2000).

Thomas Gengler (1901-1974) promovierte 1931 in Jena mit einer astronomischen Arbeit über „Das freie Pendel als Zeitnormale äußerster Präzision“. Von 1932 bis 1935 war er außerplanmäßiger Assistent an der Sternwarte Göttingen. 1944 schrieb er als hoher Parteifunktionär einen Brief an Kopff wegen der möglichen Evakuierung des Astronomischen Rechen-Instituts von Berlin nach Göttingen (siehe dazu die Kapitel 10.101 und 5.1.6 von Wielen R. und Wielen U. 2012a).

Robert Herz (1903-1996; geboren und gestorben in England) hat 1922 und 1923 bis 1925 in Heidelberg studiert. Er promovierte 1928 in Köln in Chemie.

Weitere schon eingeschriebene Studenten waren: Heinrich Blättner (hat eventuell 1925 in München zum Dr.phil. promoviert), Agnes Clemen[?], Elfriede Harth, stud. chem. Karl Müller.

Von den oben aufgeführten potentiellen Hörern der ausgefallenen Vorlesung im Sommersemester 1922 haben nur zwei die späteren Vorlesungen von Kopff zur Relativitätstheorie belegt: Bohrmann im Sommersemester 1923 und Herz im Sommersemester 1924.

### 8.1.4 Hörer der Vorlesung im Sommersemester 1923

Die Vorlesung „Einführung in die Relativitätstheorie“ im Sommersemester 1923 belegten 25 Studenten, darunter 7 Studentinnen. Zu folgenden 9 Personen haben wir zusätzlich zu ihrem Namen weitere Informationen ermitteln können:

---

<sup>99</sup>stud. cam.: Student der Kameralwissenschaften

Anneliese Benckiser studierte seit dem WS 1915/16 Naturwissenschaften an der Universität Heidelberg. Sie korrespondierte 1916/17 mit Max Wolf. 1923 promovierte sie in Heidelberg in Chemie.

Ingeborg Doflein (1901-?) hat 1925 in Breslau in Zoologie promoviert, ihre Dissertation aber teilweise in München angefertigt. Danach war sie Studienrätin in Bayern. Später heiratete sie den Önologen Otto Sartorius.

Dr. Waldemar Jacobi (1900-ca.1972) hatte bereits 1922 in Heidelberg in Mathematik promoviert. Später war er Lehrer, zuletzt Studienrat und Professor am Lessing-Gymnasium in Mannheim.

Anton Luber hat 1930 in Heidelberg in Chemie promoviert.

Helmuth Ritter (1902-?) war ab 1923 Praktikant an der Heidelberger Sternwarte. 1927 hat er dort seine Mond-Beobachtungen abgeschlossen und begann mit Berechnungen zu ihrer Auswertung. Er wurde 1929 wissenschaftlicher Mitarbeiter der astronomischen Abteilung des Bambergwerkes der Askania AG in Berlin-Friedenau und publizierte Arbeiten über neue astronomische Instrumente dieser Firma. 1934 promovierte er an der Universität Heidelberg mit einer Arbeit über den „Versuch einer Bestimmung von Schichtlinien auf dem Monde“.

Herbert Ruft (1904-?) promovierte 1928 in Physik an der Universität Göttingen.

Arnold Schmidt (1902-1967) studierte im Sommersemester 1923 Mathematik in Heidelberg. Seit 1927 war er Assistent bei Hilbert in Göttingen und promovierte bei ihm 1934 in Mathematik. 1940 war er an der Sternwarte Babelsberg tätig; vermutlich war er dort zur Berechnung von Ephemeriden für das Berliner Astronomische Jahrbuch eingesetzt. Ab 1950 war er Ordinarius für Mathematik an der Universität Marburg.

Ferdinand Schröppel (1902-?) promovierte 1932 in Biologie an der Universität Tübingen.

Paul Stecher (1903-?) promovierte 1929 in Heidelberg in Mineralogie „Über Azurit“.

Weiter haben die Vorlesung besucht:  
Tatonia Andielitz,  
Alfred Bohrmann (siehe Kapitel 8.1.3),  
Anna Buchbinder,  
Fritz Dietzel,  
Johanna Epp,  
Albert Feldmann,

Annemarie Hardt,  
Gustav Huber,  
Carl Kremp,  
Ludwig Kühle,  
M. Reinig,  
Herbert-Eittel[?] Schmidt,  
Gerry Schubert,  
Elsbeth Stober,  
Friedrich Weis,  
Richard Wolff.

### 8.1.5 Hörer der Vorlesung im Sommersemester 1924

Die im Sommersemester 1924 für Hörer aller Fakultäten angekündigte Vorlesung „Einführung in die Relativitätstheorie“ belegten 22 Studenten, darunter 4 Studentinnen. Zu folgenden 8 Personen haben wir zusätzlich zu ihrem Namen weitere Informationen ermitteln können:

Joachim Graf Bernstorff (1904-1981) war Diplom-Ingenieur und ab 1935 Berufsoffizier.

Anton Flörchinger (1903-?) hat 1929 in Würzburg mit einer juristischen Arbeit promoviert.

Egon Frenzen (1904-?) promovierte 1932 in Mathematik an der Universität Kiel. Später war er im Versicherungswesen tätig.

Erwin Gaubatz (1905-1981) promovierte 1931 in Heidelberg in Chemie. 1939 promovierte er zusätzlich in Medizin und habilitierte sich 1944 in diesem Fach. 1956 wurde er zum außerplanmäßigen Professor der Universität Heidelberg ernannt. Er leitete von 1947 bis 1972 die Heidelberger Thorax-Klinik.

Carl Gustav Hempel (1905-1997) studierte Mathematik, Physik und Philosophie. Er promovierte 1934 in Berlin mit der Arbeit „Beiträge zur logischen Analyse des Wahrscheinlichkeitsbegriffs“. Er emigrierte dann nach Belgien und 1939 in die USA. In Amerika lehrte er als Professor an der Yale University und in Princeton. Dort beschäftigte er sich hauptsächlich mit Wissenschaftstheorie.

Boris Kaufmann (1904-?) promovierte 1930 in Heidelberg in Mathematik. Er emigrierte 1933 nach England.

Karl Schröter (1905-1977) promovierte 1941 in Mathematik an der Universität Münster. Ab 1948 war er Professor für Mathematik an der Berliner

Humboldt-Universität und Direktor des Instituts für Mathematische Logik. Später wurde er Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Berlin.

Maria Seyfried (1905-?) promovierte 1932 in Chemie an der Universität Marburg.

Weiter haben die Vorlesung besucht:

Edith Birkholz,

Otto Botsch,

Heinz Eschenbach,

Robert Herz (siehe Kapitel 8.1.3),

Erich Hesse,

Herbert Hettmann,

Josef Matt,

Walter Pratz[e]l,

Maria Schwarz,

Erich Vogt,

Hermann von Schelika [*vermutlich korrekte Schreibweise*: von Scheliha],

Else Weinacht,

Ella Winterstein,

Karl[?] Zimmermann.

Es fällt auf, daß die Vorlesungen von Kopff zur Relativitätstheorie im Sommersemester 1919 und im Wintersemester 1919/20 noch einige Doktoranden von Lenard gehört haben. Dagegen konnten wir für Kopffs Vorlesungen zur Relativitätstheorie ab 1922 keine Studenten oder Gasthörer mehr nachweisen, die am Physikalischen Institut unter Lenard tätig waren. Vermutlich erschien es diesen nicht opportun, eine solche Lehrveranstaltung zu besuchen, weil Lenards Haltung gegenüber der Relativitätstheorie immer feindlicher geworden war.

## 8.2 Schriftverkehr zwischen Freundlich und Kopff

### 8.2.1 Postkarte von Freundlich an Kopff vom 15. Juli 1918

#### *Beschreibung:*

Postkarte mit handschriftlichem Text. Kurrente. Dunkelblaue Tinte. Vor- und Rückseite der Postkarte beschrieben. Bräunliche Pappe. Erhaltungszustand: sehr gut. Absender: Erwin Freundlich, Klein-Glienicke. Unterschrift: E. Freundlich. Empfänger: Professor Dr. A. Kopff, Heidelberg, Königstuhl Sternwarte. Im Besitz der Autoren. Die Postkarte lag in Kopffs Privatexemplar des Buches von Weyl (1918), das einer der Autoren (R.W.) ca. 1970 aus dem Nachlaß von Kopff käuflich erworben hat. Farb-Scans der Postkarte in Fig. 71 und 72 wiedergegeben.

#### *Kommentar:*

Kopff befand sich damals aus uns unbekanntem Gründen nicht an der Front, sondern zuhause in Heidelberg. Freundlich wohnte in Klein-Glienicke, nahe bei der Universitätssternwarte Berlin-Babelsberg, an der er damals arbeitete.

Kopff hatte in einem uns nicht vorliegenden Schreiben Freundlich gebeten, ihm das Buch von Weyl (1918) an seinen Militärstandort zu senden. Als das Buch dort nicht eintraf, hat Kopff sich offensichtlich bei Freundlich über den Verbleib des Buches erkundigt. In der vorliegenden Postkarte antwortet Freundlich an Kopff, daß das Buch über den militärischen Wetterdienst an ihn abgegangen sei und hoffentlich bald eintreffen werde.

Außerdem hatte sich Kopff bei Freundlich erkundigt, welche Arbeiten zur Relativitätstheorie neu erschienen seien. Freundlich nennt daraufhin in der vorliegenden Postkarte eine Reihe von Zeitschriftenartikeln, die er auch kurz bewertet.

Erstaunlich für uns ist dabei, daß er auch die Arbeiten von Schrödinger und Bauer als „mißverständlich“ abqualifiziert. Immerhin billigt er diesen Autoren zu, wenigstens „einen schwierigen und nicht restlos geklärten Punkt in der Einsteinschen Theorie“ aufgegriffen zu haben. Einstein selbst (1918a, 1918b) hat auf die Veröffentlichungen von Schrödinger und Bauer in zwei speziellen Arbeiten geantwortet.

Ebenso unverständlich ist Freundlichs abwertende Beurteilung der heute noch wichtigen Arbeiten von Thirring und Lense zur Auswirkung der Rotation eines Körpers auf die ihn umgebende Metrik (Lense-Thirring-Effekt; „frame dragging“).

## Volltext:

[Seite 1:]

15.VII.18 [15. Juli 1918]

Klein Glienicke

Lieber Herr Kollege[,]

das Buch<sup>100</sup> von Weyl<sup>101</sup> ist schon [vor] längerer Zeit, unmittelbar nachdem Sie den Wunsch geäußert hatten, an Sie abgegangen[;] d.h. ich habe es in der Ahornallee auf d[er] Hauptwetterstation der Heimat<sup>102</sup> für Sie abgegeben. Da Prof. Wigand<sup>103</sup> verreist war, übernahm sein Vertreter, Herr Lt. [Leutnant] Kain[?], bereitwilligst die Versendung des Buches an Sie.

Hoffentlich hat man es dort nicht verbummelt. Wie lange bleiben Sie in Heidelberg? - Ja, es sind eine ganze Reihe von Aufsätzen über die Relativitätstheorie in den Zeitschriften erschienen, doch sind manche belanglos bzw. falsch. So z.B. die Aufsätze von Gerke<sup>104</sup>, Gerber<sup>105</sup>, Wiechert<sup>106</sup>, Schrödinger<sup>107</sup>, Bauer<sup>108</sup>; Die ersten beiden Verfasser haben ziemlich[en?] Blödsinn veröffentlicht, auf den Seeliger<sup>109</sup> und Oppenheim<sup>110</sup> eingehakt haben<sup>111</sup>. Die [Der] Standpunkt von Wiechert ist sinnlos. Die Aufsätze von Schrödinger und Bauer missverständlich; ihre [Seite 2:] Einwände treffen aber wenigstens einen schwierigen und noch nicht restlos geklärten Punkt in der Einsteinschen

---

<sup>100</sup>Weyl 1918

<sup>101</sup>Hermann Weyl (1885-1955); Mathematiker

<sup>102</sup>Die „Hauptwetterwarte der Heimat“, früher „Militär-Wetterzentrale Berlin“, befand sich in Charlottenburg bei Berlin. Die wichtigste Aufgabe der Hauptwetterwarte der Heimat war die Versorgung der Feldwetterwarten mit Personal und Geräten.

<sup>103</sup>Albert Wigand (1882-1932). Damals Leiter der meteorologisch-physikalischen Versuchsabteilung der Hauptwetterwarte der Heimat.

<sup>104</sup>Gemeint ist der Physiker Ernst Gehrcke (1878-1960)

<sup>105</sup>Paul Gerber (1854-1909); Physiker. Seine hier angesprochene Arbeit (Gerber 1917) erschien posthum als Nachdruck auf Veranlassung von Gehrcke (1916).

<sup>106</sup>Emil Wiechert (1861-1928); Physiker und Seismologe. Gemeint sind wohl dessen Arbeiten von 1916 (Wiechert 1916a, 1916b).

<sup>107</sup>Erwin Schrödinger (1887-1961); Theoretischer Physiker. Gemeint sind seine Arbeiten von 1918 (Schrödinger 1918a, 1918b).

<sup>108</sup>Hans Bauer (1891-1953); Theoretischer Physiker. Bezieht sich auf seine Arbeit von 1918 (Bauer 1918).

<sup>109</sup>Hugo von Seeliger (1849-1924); Astronom

<sup>110</sup>Samuel Oppenheim (1857-1928); österreichischer Astronom

<sup>111</sup>Freundlich bezieht sich hier auf die Arbeiten von Gehrcke (1916) und Gerber (1917) und die Entgegnungen von H. von Seeliger (1917a, 1917b) und Oppenheim (1917) in den Annalen der Physik

Theorie. Andere Aufsätze z.B. von Thirring<sup>112</sup> und Lense<sup>113</sup> bauen nur schon gelöstes im Einzelnen auf<sup>114</sup>.

Hoffentlich geht es Ihnen und Ihren Angehörigen gut. Grüßen Sie bitte  
vielmals von uns[?] und meiner Frau

Herzliche Grüsse  
Ihr  
E. Freundlich

[*Anschrift auf Seite 2 rechts:*]

Herrn  
Prof. Dr. A. Kopff  
Heidelberg  
Königstuhl Sternwarte

[*Poststempel auf Seite 2 rechts oben:*]

Berlin NW  
15. 7. 18. 11-12 V

---

<sup>112</sup>Hans Thirring (1888-1976); österreichischer Theoretischer Physiker

<sup>113</sup>Josef Lense (1890-1985); Astronom und Mathematiker

<sup>114</sup>Dies bezieht sich eventuell darauf, daß vor der gemeinsamen Arbeit von Lense und Thirring (1918) bereits Arbeiten von Thirring (1918) und Lense (1918) einzeln erschienen waren

15. VII. 18

Kami Heinesike

Liebes Herr Kolleg

Das Buch von Weyl  
ist schon längerer Zeit, unmittellbar nachdem  
Sie den H. H. H. grüssend hatten, an Sie  
abgegeben d. h. ich habe <sup>es</sup> in der Akonalle  
auf d. Hauptpoststation des Kaiserat pass Sie  
abgeben. Die Prof. Weyl hat <sup>es</sup> über-  
sehen sein Vertreter, Herr Dr. Klein, bereit-  
willigt die Versendung des Buches an Sie.  
Hoffentlich hat man es dort nicht ver-  
loren. Wie lange bleiben Sie in Heidel-  
berg? — Ja, es sind nun ganz viele von  
Leipziger über die Platonitätstheorie in den  
Zeitschriften erschienen, doch sind manche be-  
langlos bzw. falsch so j. B. die Aufsätze  
von Gerke, Gerke, Heineke, Schroedinger,  
Bauer. Die ersten beiden Heineke haben nicht  
Bleiben veröffentlicht, auf den Lesern sind  
Opferungen von Gerke haben. Die Hauptpunkte  
von Heineke ist richtig. Die Aufsätze von  
Schroedinger und Bauer sind verständlich; aber

Fig. 71. Seite 1 der Postkarte von E. Freundlich an Kopff vom 15. Juli 1918



Postkarte

Herrn

Prof. Dr. A. Kopff

Heidelberg

Königsplatz 11a

Eisenside treffen aber wenigstens einen  
Selenisipen mit noch nicht restlos ge-  
klärten Punkten in der Existenz der Theorie.  
Anderer Aufsätze z. B. von Thuring, Lense laien  
sich schon gelöst in Einzelnen mit.

Hoffentlich soll es Ihnen in dem Ange-  
hörigen sein. Grüßen Sie bitte inbesondere von  
mir und meine Frau.

Herzlich grüßen 16

E. Freundlich

Fig. 72. Seite 2 der Postkarte von E. Freundlich an Kopff vom 15. Juli 1918

### 8.2.2 Brief von Freundlich an Kopff vom 24. Mai 1926

#### *Beschreibung:*

Handschriftlicher Brief. Kurrente. Schwarze Tinte. Gedruckter Kopfbogen: Swarthmore College; Swarthmore, Pennsylvania [USA]; Mathematics and Astronomy. 1 Blatt (1 Seite beschrieben). 21,5 cm breit, 27,8 cm hoch. Weißes Papier. Erhaltungszustand: sehr gut. Absender: Erwin Freundlich. Unterschrift: E. Freundlich. Empfänger: Kopff [*in Berlin-Dahlem, Altensteinstraße 40.*]. Aufbewahrung im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts. Farb-Scan des Briefes in Fig. 73 wiedergegeben.

#### *Kommentar:*

Freundlich nahm 1925/26 an der Holländisch-Deutschen Sonnenfinsternis-Expedition nach Benkoelen, das an der Westküste Süd-Sumatras liegt, teil. Platten zur Messung der Lichtablenkung konnten dort während der Finsternis am 14. Januar 1926 aufgenommen werden.

Anschließend trat Freundlich eine Reise zu verschiedenen Sternwarten in den USA an. Ob er direkt von Sumatra nach Kalifornien reiste oder einen Zwischenaufenthalt in Deutschland einlegte, konnten wir nicht klären. Sein wichtigstes Ziel war das Mount Wilson Observatory bei Pasadena in Kalifornien. Diese Sternwarte besaß bereits ein modernes Turmteleskop für Sonnenbeobachtungen, das von der Technik her als Vorbild für den Einsteinturm in Potsdam gedient hatte. Freundlich hielt sich einige Zeit am Mount Wilson Observatory auf und nahm sogar an Sonnenbeobachtungen teil. Die Sternwarte besaß mit dem 100 inch (2,5 m) Hooker Telescope das damals größte Spiegelteleskop der Welt, mit dessen Hilfe Hubble empirische Daten zur Expansion des Universums bereitstellen konnte. Die Daten zum Hubble-Gesetz waren 1926 aber noch sehr unsicher und es ist unklar, wie stark Freundlich bei seinem Besuch auf dem Mount Wilson von diesen Untersuchungen beeindruckt war.

Im Juni 1926 hielt sich Freundlich dann am Sproul Observatory des Swarthmore College in Pennsylvania auf. Hauptgrund für seinen Besuch des Sproul Observatory war sicher die Tatsache, daß diese Sternwarte 1925/26 ebenfalls eine Sonnenfinsternis-Expedition nach Benkoelen entsandt hatte und Freundlich sich über deren Resultate informieren wollte. Ob Freundlich bei seiner USA-Reise noch andere Sternwarten besucht hat, wissen wir nicht. Es ist aber zu vermuten.

Für seinen USA-Besuch hatte Freundlich vom Preußischen Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung einen Reisekostenzuschuß in Höhe von 4500 Mark erhalten (laut Hentschel (1992, Tab. 6 auf S. 122)). Wir wissen

nicht, worauf sich die in Freundlichs Brief an Kopff erwähnte „Angelegenheit mit der Notgemeinschaft“ bezieht. Vielleicht hatte die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft (die spätere Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG) die Reise ebenfalls unterstützt. Offenbar gab es Irritationen, weil Frau Freundlich ihren Mann wohl auf der Reise begleitet hat.

Merkwürdig ist, daß Kopff die Mitarbeiter des Einsteinturms telefonisch über den Zeitpunkt der Rückkehr Freundlichs nach Deutschland benachrichtigen sollte. Die Mitarbeiter hätten vermutlich eine direkte Unterrichtung durch Freundlich als höflicher empfunden.

Die mit Bleistift geschriebene Zahl „20“ auf dem Brief links oben stammt von Kopff und weist auf die Ablagemappe „XX / Wissenschaftliche Anfragen“ des Astronomischen Rechen-Instituts hin, in der der Brief aufgehoben wurde. Der Umschlag des Briefes ist nicht erhalten.

**Volltext:**

20

SWARTHMORE COLLEGE      24/V 26 [24. Mai 1926]  
SWARTHMORE, PENNSYLVANIA  
MATHEMATICS AND ASTRONOMY

Lieber Kopff

noch einmal vor der Heimkehr einige Zeilen! Ich fand Ihren Brief<sup>115</sup> in Mt. Wilson<sup>116</sup> vor und danke Ihnen vielmals für die freundschaftliche Regelung der ganzen Angelegenheit mit der Notgemeinschaft<sup>117</sup>. Wir können ja in wenigen Tagen alles ausführlich besprechen; nur auf ein Missverständnis möchte ich hinweisen; nämlich die ganze Angelegenheit der Bewilligung eines Reisezuschusses hat nichts mit der Reise meiner Frau zu tun, ich weiss garnicht worauf sich diese Version beziehen kann. Nun, wie gesagt wir können alles in Ruhe besprechen, sobald ich zurück bin. Der Aufenthalt auf Mt. Wilson war sehr erfolgreich und erfreulich und hat bei Gott die Zeit und Ausgaben gelohnt. Wir fahren am 3. Juni mit der „Cleveland“ heim, die etwa am 12. VI. [12. Juni 1926] in Hamburg eintrifft. Wollen Sie bitte so gut sein und den Turm<sup>118</sup> in Potsdam anrufen und dort mitteilen, wann wir abfahren.

Hoffentlich geht es Ihnen und allen den Ihren gut.  
Auf baldiges Wiedersehen und herzliche Grüsse

Ihr

E. Freundlich

---

<sup>115</sup>Der Brief von Kopff an Freundlich liegt uns nicht vor

<sup>116</sup>Mount Wilson Observatory

<sup>117</sup>Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft

<sup>118</sup>D.h.: das Personal des Einsteinturms

20

SWARTHMORE COLLEGE  
SWARTHMORE, PENNSYLVANIA  
MATHEMATICS AND ASTRONOMY

24 26  
/ V

Lieber Kopff

erst einmal sei der herzlichste meine Glückwünsche!  
Ich fand Ihren Brief in Mr. Wilsons und danke Ihnen herzlich  
für die freundschaftliche Begleitung der ganzen Angelegenheit mit der  
Notgemeinschaft. Wir können ja in wenigen Tagen alles ausführlich be-  
sprechen; nur auf ein Missverständnis möchte ich hinweisen; näm-  
lich die ganze Angelegenheit der Beurlaubung muss Priorität vor  
alles mit der Reise meines Vaters zu tun, ist nicht gemeint  
voraussetzt sich dies Vorkommt begeben kann. Wenn, wie gesagt, wir können  
alles in Ruhe besprechen, bleibt es für mich hier. Der Aufenthalt auf  
Mr. Wilsons war sehr angenehm und informativ und hat bei fast die  
Zeit und Ausgehen geleistet. Wir fahren am 3. Juni mit der  
"Oderland" hier, die etwa am 11. in Hamburg eintrifft. Holten  
"L." bitte so gut sein und den Termin in Potsdam ansetzen und  
dort mitteilen, wenn wir allfälligen.

Herzlich gilt es Ihnen und allen den Guten.  
Auf baldigen Wiedersehen und herzlich grüßen

14

E. Freundlich

Fig. 73. Seite 1 des Briefs von E. Freundlich an Kopff vom 24. Mai 1926

## 8.3 Fremde Hinweise zur Verbesserung von Kopffs Buch und von seinem Lehrbuchartikel

### 8.3.1 Postkarte von R. Schleußinger an Kopff vom 26. Juli 1921

*Beschreibung:* Postkarte mit handschriftlichem Text. Kurrente. Schwarze Tinte. Vor- und Rückseite der Postkarte beschrieben (eigentlicher Text nur auf der Vorderseite). Bräunliche Pappe. Absender: Studienprofessor Rudolf Schleußinger, Weißenburg in Bayern. Empfänger: Universitätsprofessor Dr. August Kopff, Heidelberg-Königstuhl, Sternwarte. Die Postkarte befand sich im Privatexemplar der 2. Auflage des Buches von Kopff (1923a).

*Kommentar:* Rudolf Schleußinger (1882-1969) war 1921 Studienprofessor an der Oberrealschule (dem heutigen Werner-von-Siemens-Gymnasium) in Weißenburg in Bayern. Der Hinweis von Schleußinger betrifft die 1. Auflage des Buches von Kopff (1921a). Aufgrund dieses Hinweises hat Kopff in der 2. Auflage (1923a) das Gleichungssystem (45) in korrekte Form gebracht.

*Nebenbemerkung:* Eine der Briefmarken auf der Postkarte, die in Fig. 75 abgebildet ist, stellt ein Dokument deutscher Philatelie-Geschichte dar. Es ist die blaue Marke aus Bayern mit dem Überdruck „Deutsches Reich“ im Nennwert von 80 Pfennig. Auch nach Gründung des Deutschen Reichs 1871 hatten zwei Staaten ihre Posthoheit und damit eigene Briefmarken beibehalten dürfen: Bayern und Württemberg. Erst nach dem Ersten Weltkrieg ging deren Posthoheit am 1. April 1920 auf das Reich über. Die blaue Briefmarke aus Bayern mit dem Überdruck des Reichs wurde am 6. April 1920 ausgegeben und behielt ihre Gültigkeit bis zum 30. September 1923.

**Volltext:**

[Seite 1 (Textseite):]

Weißenburg i[n] B[ayern], 26. Juli 1921.

Sehr verehrter Herr Professor!

Ich glaube, in Ihrem schönen Buch über die R[elativitäts-]Theorie ist ein Fehler? Muß es nicht in der 4. Gleichung des Systems (44) heißen:

$$ix'_4 = \alpha_{41} x_1 + \alpha_{42} x_2 + \alpha_{43} x_3 + \alpha_{44} x_4$$

Nur infolge des Zusatzes der imaginären Einheit stimmen nämlich die Koeffizienten-Bedingungen (45). —

Der Begriff des Tensors sollte ein bis[s]chen ausführlicher behandelt sein. Er macht dem Nichtfachmenschen recht viel zu schaffen. Zuerst sollte ein prüfbares Beispiel eines solchen Ungeheuers da[r]stehen, daß man weiß, wie es was[?] frißt und sich fortpflanzt. Im Übrigen herzlichen Dank für Ihr schönes und so dramatisch geschriebenes Buch!

Herzlichst

Rudolf Schleußinger.

[Seite 2 (Anschriftenseite):]

Absender  
Studienprofessor  
Rudolf Schleußinger  
Weißenburg i[n] Bay[ern]

[An den]  
S[ehr] G[ehrten]  
Herrn Universitätsprofessor  
Dr. August Kopff  
Heidelberg-König[s]stuhl  
Sternwarte

Kempten i. G. 26. Juli 1921

Sehr verehrter Herr Kopff!

Zuglücke, — Ihnen persönlich danken über die R. Jahre so ein Folles!

Mühsal nicht nur die 4. Heftung des System (44) für Sie:

$$i x_4' = d_{01} x_1 + d_{02} x_2 + d_{03} x_3 + d_{04} x_4$$

Wird infolge des Zustandes der imaginären Rechnung wiederum mündlich  
 die Koeffizienten Bedingungen (45). —

Der Begriff des Rechnens selbst ein höchst interessantes Gegenstand sein.  
 Ganz anders, wenn diese Rechnungen auch andere beinhalten. Wahrlich  
 ein geistreich Beispiel eines solchen Rechnens Rechnens, das man  
 nicht, wie es mit Rechnen und Rechnen Rechnen. Im Rechnen Rechnen  
dank für Ihre Rechnen Rechnen Rechnen Rechnen!

Ihrer  
 Rudolf Schleußinger

Fig. 74. Seite 1 der Postkarte von R. Schleußinger an Kopff vom 26. Juli 1921

Absender

Herrn Kopff  
 Rudolf Schleußinger  
 Kempten i. G.

v. J.  
 Herrn Rechnen Rechnen  
 Herr Rechnen  
 Heidelberg — Rechnen  
Rechnen

Papierpreiszuschlag  
 5 Pf.

Fig. 75. Seite 2 der Postkarte von R. Schleußinger an Kopff vom 26. Juli 1921

### 8.3.2 Brief von H. Thirring an Kopff vom 7. Juli 1922

*Beschreibung:* Handschriftlicher Brief auf Kopfbogen. Schwarze Tinte. 1 Blatt (2 Seiten). 22,9 cm breit, 29,7 cm hoch. Weißes Papier, nachgedunkelt. Absender: H. Thirring, Wien. Empfänger: Kopff (vermutlich an seine Adresse: Heidelberger Sternwarte). Unten links handschriftlicher Zusatz mit Bleistift, vermutlich von M. Mündler. Das Blatt befand sich im Privatexemplar der 2. Auflage des Buches von Kopff (1923a).

*Kommentar:* Thirring berichtet Kopff, daß er Kopffs Buch (es kann sich nur um die erste Auflage (Kopff 1921a) handeln) mit großem Erfolg bei seinen Vorlesungen verwendet habe. Er macht dann eine Reihe von inhaltlichen Bemerkungen und von Verbesserungsvorschlägen. Hans Thirring (1888-1976) war seit 1921 außerordentlicher Professor für Theoretische Physik der Universität Wien. 1927 wurde er dort zum Ordinarius ernannt. Er hat wichtige Beiträge zur Allgemeinen Relativitätstheorie geleistet und ist heute durch den von ihm gefundenen „Lense-Thirring-Effekt“ bekannt (siehe Kapitel 3, Thirring 1918, Lense und Thirring 1918). Er hat auch ein Buch über Allgemeine Relativitätstheorie geschrieben (Thirring 1921, 1922a, 1948), dessen erste Auflage Kopff besprochen hat (siehe Kapitel 4.8.1). Thirring seinerseits hatte das Buch von Kopff rezensiert (siehe Kapitel 4.4.7, Punkt (1a) und (1b)).

Thirring's Brief geben wir nur als Text-Auszug ohne die mathematischen Formeln wieder. Die Formeln und der zugehörige Text können aus den Scans des Briefes entnommen werden, den wir in den Figuren 76 und 77 zeigen.

Am linken Rand des Briefes, etwa in Höhe der Unterschrift von Thirring, befindet sich eine mit Bleistift sehr schwach geschriebene Bemerkung, die vermutlich von Mündler<sup>119</sup> stammt. Sie ist in Fig. 77 nur bei stärkerer Vergrößerung erkennbar. Kopff hatte Mündler gebeten, während seiner Abwesenheit wegen der Teilnahme an der Sonnenfinsternis-Expedition zur Weihnachtsinsel die Überprüfung der Korrekturabzüge der zweiten Auflage seines Buches (Kopff 1923a) zu übernehmen (siehe Kapitel 4.4.2). Die Notiz von Mündler auf Thirring's Brief ist wahrscheinlich eine Kurzfassung einer provisorischen Antwort Mündlers an Thirring. Denn Kopff konnte während seiner Reise kaum an Thirring schreiben, und Mündler wollte sicherlich Thirring den Eingang seines Briefes bestätigen und einige Korrekturen ankündigen.

Von Thirring's Korrekturvorschlägen hat Mündler die einfach umzusetzenden Änderungen selbständig in die zweite Auflage eingefügt, wie ein Vergleich der ersten mit der zweiten Auflage zeigt: Fußnote auf Seite 144 (1. Auflage) bzw. Seite 145 (2. Auflage); Gleichungen (335) und (339); Text nach Gleichung (432). Kompliziertere Änderungen (sie hätten S. 172 bzw. S.175 und

---

<sup>119</sup>Max Mündler (1876-1969) war 1922 Assistent an der Heidelberger Sternwarte

S. 173 bzw. S. 176 betroffen) hat Mündler wohl nicht vorzunehmen gewagt. Diese Korrekturvorschläge Thirring hat Kopff später in seinem Privatexemplar der zweiten Auflage mit Bleistift vermerkt, vermutlich für eine eventuelle dritte Auflage (siehe Kapitel 4.4.9 und 8.4).

**Text-Auszug:**

[Seite 1:]

**UNIV.-PROF. Dr. HANS THIRRING**  
INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK  
WIEN IX, BOLTZMANNGASSE Nr. 5

WIEN, am 7. Juli 1922

Lieber Herr Kollege,

indem ich Ihr Relativitätsbuch mit großem Erfolg bei meiner Vorlesung verwendete, hatte ich Gelegenheit, es eingehender zu studieren und dabei fielen mir ein paar kleine Inkorrektheiten auf, die ich Ihnen für die späteren Auflagen mitteilen möchte.

Auf S. 144 muß es in der Fußnote statt „Koordinatensysteme“ heißen: „Transformationen“.

[Den folgenden Teil mit Formeln auf dem Rest der Seite 1 und dem Beginn der Seite 2 geben wir hier nicht wieder.]

[Rest der Seite 2:]

Nun sind das natürlich Kleinigkeiten und der Fachmann sieht auf den ersten Blick, daß alles in Ordnung ist; der Anfänger kann sich aber tagelang den Kopf zerbrechen und glaubt, da steckt ein Fehler drin, weil anscheinend Glieder I. Ordnung auch vernachlässigt werden.

Besten Gruß

Thirring

[Am linken Rand befindet sich eine mit Bleistift geschriebene Bemerkung:]

Prof. K[opff] auf Reisen. Verbesserungen werden ev[entuell] angebracht, so Kompetenz es erlaubt.

WIEN, am 7. Juli 1922

Lieber Herr Kollege,  
 indem ich über Relativität, auch mit großem Erfolg bei meiner Vorlesung verweilte, hatte ich Gelegenheit, es eingehender zu studieren und dabei finden mir ein paar kleine Inkorrektheiten auf, die ich Ihnen für die spätere Auflage mitteilen möchte.  
 Auf S. 144 wurde in der Fußnote statt „Koordinatensysteme“ heißen: „Transformationen“.

Auf S. 149, Gl. (335) und S. 150, Gl. (339) muss es heißen:  $\frac{1}{2} \frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k}$  oder  $\frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k}$

Auf S. 192 sagen Sie:  $\frac{dx_4}{ds}$  ist bis auf Zeichen I. Ordnung gleich 1. Das ist nicht richtig, denn es gilt

$$\frac{dx_4}{ds} = \frac{1}{\sqrt{g_{44}}} = 1 - \frac{1}{2} f_{44} \quad (\text{für klein I. Ordnung})$$

Wichtig ist vielleicht, dass man in den obigen kleinen Formeln  $\frac{d^2 x_i}{ds^2}$  die Differentiation nach  $ds$  mit der nach  $dx_4$  verstanden kann. Ferner sagen Sie nach Gl. (432): „Die letzte dieser Gleichungen führt auf die Identität  $0=0$ .“ Das ist aber nur richtig, wenn man  $[44] = \frac{1}{2} \frac{\partial g_{44}}{\partial x_4} = 0$  setzt. Die Gleichung auf solche Felder machen Sie aber erst nachdem Sie die zitierte Behauptung angeprochen haben. Es wäre darum besser, von vornherein gleich von quasi-statischen Feldern zu sprechen mit folgendem Schema der Formelordnungen:

Mein:	0.ter	I.	II. Ordnung
	$g_{ij}$	$g_{ik} (i \neq k)$	$\frac{\partial g_{ik}}{\partial x_4}$
	$\frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k}$	$\frac{\partial g_{ik}}{\partial x_4}$	
		$\frac{d^2 x_i}{ds^2}$	
		} $i \neq 4$	

Fig. 76. Seite 1 des Briefs von H. Thirring an Kopff vom 7. Juli 1922

Frau wäre es keine auf S. 173 zu sagen, dass man  
 $K_{10}$  als kleine Probe erster Ordnung ansehen  
 muss, denn dann kann man erst behaupten,  
 dass alle Komponenten von  $T_{10}$  bis auf  $T_{10}$   
 null sind. Mit endlichem  $K_{10}$  wäre z.B.:

$$T_{14} = g_{14} S \quad T_{10} = g_{10} S$$

Ein anfänglicher Ausdruck würde z.B. aus Gl. (435)  
 ablesen, dass an Stelle von (436) zu setzen wäre

$$T = g^{10} T_{10} = g^{10} S = (1 + g^{10}) S$$

Nun ist aber tetrachlorid  $T_{10} = g_{10} S$

$$\text{also } T = g^{10} T_{10} = g^{10} g_{10} S = S$$

(alle Abstände hier S statt 100)

Nun sind das natürlich Kleinigkeiten und der  
 Fachmann sieht auf den ersten Blick, dass alles  
 in Ordnung ist, da Befänger kann sich aber  
 tagelang den Kopf zerbrechen und plant, da  
 steht ein Fehler drin, weil unheimlich Glieder  
 I. Ordnung auch vernachlässigt werden.

Besten Gruss  
 Thirring

Fig. 77. Seite 2 des Briefs von H. Thirring an Kopff vom 7. Juli 1922

### 8.3.3 Brief eines nichtidentifizierten Schreibers an Kopff vom 28. Dezember 1922

*Beschreibung:* Handschriftlicher Brief. Schwarze Tinte. 1 Blatt (1 Seite). 16,4 cm breit, 21,4 cm hoch. Bräunliches Papier. Die Unterschrift auf dem Brief konnten wir nicht entziffern. Das Blatt befand sich im Privatexemplar der 2. Auflage des Buches von Kopff (1923a).

*Kommentar:* Die mitgeteilten Druckfehler beziehen sich auf die 2. Auflage des Buches von Kopff (1923a). Diese Neuauflage war bereits Ende 1922 erschienen. Kopff hat die entsprechenden Korrekturen mit Bleistift in sein Privatexemplar dieser Auflage eingetragen.

Da die Schrift (bis auf die Unterschrift) recht gut lesbar ist, verzichten wir auf eine Edition des Briefs und geben in Fig. 78 nur einen Scan des Briefs wieder. Abgebildet ist der obere, beschriebene Teil des Briefs.

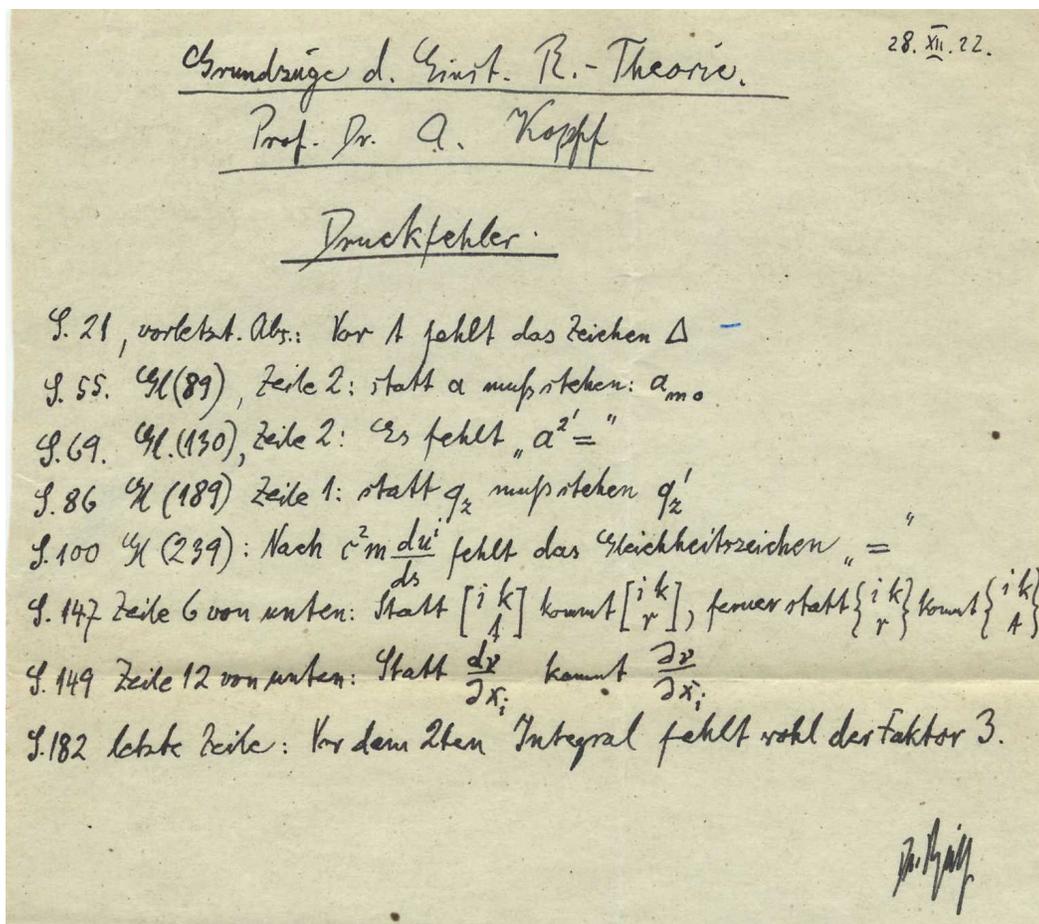


Fig. 78. Obere Hälfte des Briefs eines nichtidentifizierten Schreibers an Kopff vom 28. Dezember 1922

### 8.3.4 Buchbesprechung durch Max von Laue im Jahr 1923

*Beschreibung:* Die Besprechung der 2. Auflage von Kopffs Buch (1923a) erschien in der Zeitschrift „Die Naturwissenschaften“, Band 11 (1923), S. 231. Rezensent war der Physiker Max von Laue (siehe Kapitel 4.4.7, Punkt (2a)). Von der Besprechung erhielt Kopff einen Ausschnitt aus der Zeitschrift, den der Verlag der Zeitschrift (Springer) als Beleg für den Erhalt eines Besprechungsexemplars an den Verlag Hirzel geschickt hatte und den dieser dann an Kopff weiterleitete. Auf das Trägerblatt des aufgeklebten Ausschnitts hat Kopff eine Notiz geschrieben. Der aufgeklebte Ausschnitt und sein Trägerblatt befanden sich im Privatexemplar der 2. Auflage des Buches von Kopff (1923a).

*Kommentar:* Zur vorliegende Rezension siehe unser Kapitel 4.4.7, Punkt (2a). Wir geben hier den Volltext der Rezension wieder, weil von Laue im zweiten Absatz seiner Besprechung einen Hinweis auf eine „kleine Inkonsequenz“ gibt.

#### **Volltext:**

Kopff, August, Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie. Zweite Auflage, Leipzig, S. Hirzel, 1923. VIII, 204 S. und 3 Abbild.

Nach weniger als zwei Jahren ist schon eine zweite Auflage dieser sehr lesbaren und dabei gründlichen Schrift erschienen. Sie ist gegenüber der ersten nur wenig verändert, da ja die Relativitätstheorie seitdem ihr Aussehen nicht geändert hat. Nur der Paragraph, welcher die Zusammenhänge der allgemeinen Relativitätstheorie mit der Riemannschen Geometrie behandelt, ist umgearbeitet.

Auf eine kleine Inkonsequenz möchten wir aber aufmerksam machen. Die Schrift bringt unter Nr. 296 die Ungleichungen, welche die  $g_{ik}$  erfüllen müssen, damit die Zeitachse eine zeitartige, die anderen raumartige Richtungen haben. Nimmt man sie an, so sind dadurch die rotierenden Koordinatensysteme ausgeschlossen, wenigstens für Gebiete weit von der Drehungsachse, welche der Verfasser an anderer Stelle ausdrücklich als berechtigt anerkennt.

M. v. Laue, Berlin.

[Unter den aufgeklebten Ausschnitt mit der Rezension hat Kopff auf das Trägerblatt mit Bleistift folgende Notiz geschrieben:]

vergl[eiche] auch Hilbert<sup>120</sup>  
II. Abt. Gött. N. 1917 Heft 1.

---

<sup>120</sup>David Hilbert: „Die Grundlagen der Physik. (Zweite Mitteilung). Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch-physikalische Klasse, aus dem Jahre 1917, S. 53.

### 8.3.5 Brief von T. Ziehen an Kopff vom 25. März 1929

*Beschreibung:* Handschriftlicher Brief. Schwarze Tinte. 1 Blatt (2 Seiten). 14,3 cm breit, 22,8 cm hoch. Weißes Papier, gebräunt. Absender: Th. Ziehen (Halle an der Saale, zur Zeit in Wiesbaden). Empfänger: Kopff (Da kein Briefumschlag überliefert ist, bleibt es unklar, ob Ziehen seinen Brief nach Heidelberg oder nach Berlin adressiert hat). Am Ende des Briefes hat Kopff mit Bleistift eine Formel hinzugefügt. Das Blatt befand sich im Privatexemplar der 2. Auflage des Buches von Kopff (1923a).

*Kommentar:* Theodor Ziehen (1862-1950) war seit 1917 Ordinarius für Philosophie an der Universität Halle. Er hatte vorher bereits an verschiedenen Stellen als Arzt und Professor für Psychiatrie und Neurologie gearbeitet, unter anderem an der Charité in Berlin. Mit dem im Brief genannten Werk, an dem Ziehen 1929 gerade arbeitete, ist vermutlich sein Buch „Erkenntnistheorie“ gemeint. Es ist in zwei Teilen 1934 bzw. 1939 beim Verlag Gustav Fischer in Jena erschienen. Insbesondere der zweite Teil beschäftigt sich eingehend mit Fragen der Relativitätstheorie.

Der Brief zeigt die außerordentliche Vielseitigkeit von Ziehen, denn er hat sich offensichtlich intensiv in die Allgemeine Relativitätstheorie und die dazu notwendige Tensorrechnung eingearbeitet. Dazu dienten ihm nach seinen Zitaten mindestens das Buch von Kopff (1923a) und das Werk von Laues (1921b). Die von Kopff am Ende des Briefes notierte Formel benutzte Kopff wahrscheinlich zur Formulierung seiner Antwort an Ziehen, die uns aber nicht vorliegt.

**Text-Auszug:**

[Seite 1:]

Halle S[aale], Ulestr. 1  
jetzt für 2 Wochen Wiesbaden,  
Hotel Grüner Wald  
25. 3. 29

Sehr geehrter Herr Kollege !

Bei der Abfassung eines größeren erkenntnistheoretischen Werks zur Relativitätstheorie; in dem ich auch vielfach auf die mir allein zugängliche 2. Auflage Ihrer Grundzüge Bezug nehme, bin ich auf folgende Schwierigkeiten gestoßen:

[Den folgenden Teil mit Formeln geben wir hier nicht wieder.]

[Rest der Seite 1:] Ich bin selbst [gestrichen: ?] überzeugt, daß irgend eine falsche Auffassung bei mir vorliegt, und wäre Ihnen für einige aufklärende Zeilen sehr dankbar, zumal [Seite 2:] mir hier mathem[atische] Hilfsmittel nicht zur Verfügung stehen.

In vorzügl[icher] Hochachtung  
ergebenst

Th. Ziehen

Prof[essor] d[er] Philosophie a[n] d[er] Univ[ersität]  
Halle S[aale]

[Hier steht eine (vermutlich von Kopff) mit Bleistift geschriebene Formel]

Kalle S, Ulestr. 1  
 jetzt für 2 Wochen Wiesbaden,  
 Hotel Grüner Wald  
 25.3.29

Sehr geehrten Herrn Kollege!

Bei der Abfassung eines größeren erkenntnistheoretischen Werkes zur Relativitätstheorie; in dem ich auch vielfach auf die mir allein zugängliche 2. Auflage Ihrer Grundzüge Bezug nehmen, bin ich auf folgende Schwierigkeiten gestossen:

1) Wie verträgt sich die Gleichung

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = -\kappa T_{ik} \quad (\text{S. 166})$$

mit der Gleichung  $R_{ik} - \frac{1}{4} g_{ik} R = -\kappa T_{ik}$  auf S. 167?

2) Wie ausdrückt sich  $R = g^{ik} R_{ik}$  (S. 158)

mit der Gleichung bei von Laue (Rel. th. II, 1921, S. 98)

$$R_{kl} = \frac{1}{2} g_{kl} R, \text{ woraus sich zu ergeben scheint (unter}$$

Berücksichtigung der oben u. unten Indices, vgl. ebenda S. 167)

$$R = \frac{g^{ik}}{2} R_{ik} \quad ? \quad \sum_{ik} g_{ik} g^{ik} = 4$$

Ich bin selbst ~~sehr~~ überzeugt, daß irgend eine falsche Auffassung bei mir vorliegt, und wäre Ihnen für einige aufklärende Zeilen sehr dankbar, zumal

Fig. 79. Seite 1 des Briefs von T. Ziehen an Kopff vom 25. März 1929

mir hier mathem. Hilfsmittel nicht zur Verfügung  
steht.

In vorz. Hochachtung

erhöht

Th. Ziehen

Prof. d. Philosophie a. d. Univ.  
Halle S

$$R_{kl} = \sum_{im} g^{im} R_{iklm}$$

(1919)  $R_{kl} = \sum_{im} g^{im} R_{iklm}$

und die Gleichung für den Tensor  $R_{iklm}$  (S. 10)

$R_{kl} = \frac{1}{2} (R_{kl} + R_{lk})$ , wenn wir die Symmetrie (S. 10)

Benutzen, so erhalten wir  $R_{kl} = \frac{1}{2} (R_{kl} + R_{lk})$

Es ist leicht zu zeigen, daß  $R_{kl} = R_{lk}$

folgt, wenn wir die Symmetrie (S. 10) benutzen

und die Gleichung für den Tensor  $R_{iklm}$  (S. 10)

Fig. 80. Seite 2 des Briefs von T. Ziehen an Kopff vom 25. März 1929

### 8.3.6 Undatierter Brief von F. von Krbek an Kopff

*Beschreibung:* Maschinenschriftlicher Brief. 1 Blatt (1 Seite). DIN A4. Dünnes, helles Papier, gebräunt. Der Brief ist undatiert. Absender: F. von Krbek. Empfänger: Kopff. Das Blatt befand sich in Kopffs Privatexemplar des von ihm herausgegebenen Lehrbuch-Bandes (Kopff 1928).

*Kommentar:* Franz von Krbek (1898-1984) war Mathematiker und Physiker. Er hatte in Budapest studiert und dort promoviert. Als Assistent arbeitete er in Bonn und Berlin. Seit 1942 lehrte er an der Universität Greifswald, zuletzt als Ordinarius. Der Brief ist undatiert. Da er sich eindeutig auf den Lehrbuchartikel von Kopff (1928) zur Relativitätstheorie bezieht, ist er nach 1928 geschrieben worden.

Die Kritik an Kopffs Ableitung der Lorentztransformation ist sachlich nicht berechtigt. Allerdings ist Kopffs Text in der Tat etwas verwirrend, weil Kopff (vermutlich basierend auf der Darstellung von Laues (1913, S. 43)) vorrechnet, daß für einen Stab in seinem Ruhesystem die größte Länge gemessen wird im Vergleich zu seiner Länge, die in einem System gemessen wird, das sich relativ zum Stab bewegt<sup>121</sup>. Normalerweise kennt man die umgekehrte, aber natürlich sachlich identische Aussage, daß man für einen bewegten Stab eine kürzere Länge mißt als für den gleichen Stab in Ruhe. Daher die übliche Bezeichnung „Lorentz-Kontraktion“.

Ob Kopff Krbek geantwortet hat, wissen wir nicht. Weder auf dem Blatt selbst, noch auf Seite 536 seines Privatexemplars von Kopff (1928) hat er eine Bemerkung zu Krbeks Kritik niedergeschrieben.

Den im Postskriptum des Briefes erwähnten Aufsatz für die populäre Zeitschrift „Die Sterne“ konnten wir nicht identifizieren.

Da der vorliegende maschinenschriftliche Brief im Scan (Fig. 81) gut lesbar ist, verzichten wir auf eine Textedition des Briefs.

---

<sup>121</sup>Von Laue beschreibt den Sachverhalt so: „Die Abmessung eines Körpers parallel zur Bewegungsrichtung wird also vom [*mit ihm*] mitbewegten System aus [*also im Ruhesystem des Körpers*] größer beurteilt als von jedem anderen. Bringen wir einen Stab unter Aufrechterhaltung seines inneren Zustandes ... von der Ruhe auf die Geschwindigkeit  $q$ , so zieht er sich im Verhältnis  $\sqrt{1 - \frac{q^2}{c^2}}$  zusammen; ...“.

Hochgeehrter Herr Professor,

zu Ihrem Artikel über Relativitätstheorie S. 536 oben erlaube ich mir folgendes zu bemerken:

Der Stab ruht in K. Aus K' beurteilt erscheint er also verkürzt. Beim messen werden die aus K' beurteilt gleichzeitige Enden - also in K ungleichzeitig - bestimmt.

Dementsprechend soll die fragliche Stelle heissen:

Zeile 3 und 4 von oben zu streichen: „ , und zwar nehmen die beiden Enden die Lagen  $x_1$  und  $x_2$  in K gleichzeitig, d. h. für dasselbe t ein „

Formel (9) soll heissen

$$x_2 - x_1 = \frac{x'_2 - x'_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

In Zeile 8 soll: „ $x'_2 - x'_1 < x_2 - x_1$ “ stehen.

In Zeile 9 endlich an Stelle von „grösser“ soll „kleiner“ stehen.

Hochachtungsvoll mit den besten Grüßen Ihr ergebenster

f. v. Krbek

Eine Beilage: Aufsatz für „Die Sterne“.

Fig. 81. Seite 1 des undatierten Briefs von F. von Krbek an Kopff

## 8.4 Kopffs eigene Verbesserungsvorschläge zu seinem Buch und zu seinem Lehrbuchartikel

### 8.4.1 Handschriftliche Notizen von Kopff in seinem Privatexemplar der 2. Auflage des Buches

Wir listen hier alle Hinweise und Druckfehlerberichtigungen auf, die Kopff in sein Privatexemplar der 2. Auflage seines Buches (Kopff 1923a) handschriftlich eingetragen hat. Wir geben diese Notizen als gedruckten Text wieder. In einigen Fällen sind die handschriftlichen Notizen aber auch in Scans sichtbar (auf Seite 3: Fig. 16, S. 6: Fig. 19, S. 198: Fig. 20).

In vielen seiner Notizen verweist Kopff auf Eddington, oft sogar mit Seitenangabe. Damit ist das Werk „The Mathematical Theory of Relativity“ von A. S. Eddington (1923b) gemeint. Kopff besaß von diesem Buch ein Privatexemplar, in das er zahlreiche handschriftliche Bemerkungen eingetragen hat.

Die hier vorgestellten Notizen Kopffs waren wohl vor allem für eine geplante 3. Auflage seines Buches bestimmt, die aber nicht zustande kam (siehe Kapitel 4.4.9).

#### Seite 3

Am Rand steht: „sobald man alle Bewegungsvorg[änge] als relative auf-  
faßt[:] Raum &[und] Zeit nichteuklidisch“.

#### Seite 6

Der Titel von §1 ist am Anfang ergänzt worden. Er lautet jetzt: „Die  
klass[ische] Mechanik und das Galileische Relativitätsprinzip. Das Prinzip der  
Relativitätstheorie.“.

Am Rand steht: „Schwächen der klassischen Mech[anik]. Absoluter Raum  
= Koord[inaten]sys[tem] der New[tonschen] Mech[anik]“.

#### Seite 9

Am Rand steht die Notiz: „Hinweis auf Gruppenth[eorie]“. Ein Pfeil zeigt  
an, daß dieser Zusatz nach „..., sind gegen die Galilei-Transformation (8) in-  
variant.“ angebracht werden sollte.

## Seite 11

Am Rand oben steht die Notiz: „Vektor transf[ormiert] sich wie eine Strecke“.

Rechts neben Gl.(12) steht: „Liebmann<sup>122</sup>[:] nur [Gleichung] 14 hat einen Sinn“.

Links neben dem Absatz mit den Gleichungen (12) und (13) steht eine geschweifte Klammer. Von dieser Klammer aus geht ein Pfeil unter die Gl. (14), der bei einer Notiz „nachher“ endet.

Rechts neben Gl. (14) steht: „[Gleichung] (14)[:] 1) invariant gegen jede Drehung[:] 2) invar[iant] gegen |[Parallel]versch[iebung] mit gleichf[örmiger] Geschw[indigkeit]“.

## Seite 15:

Der hintere Teil der Überschrift von § 2 ist eingeklammert worden (in eckige Klammern). Offenbar soll diese Überschrift verkürzt werden und in Zukunft lauten: „Die Isotropie des Raumes in der Physik und die Relativität der Zeit“.

## Seite 16:

Am Rand in der Mitte steht neben dem Absatz über den Äther und den Versuch von Fizeau: „vergl[eiche] Sommerfeld“.

## Seite 18:

Am oberen Rand steht: „Hier: Geschwindigk[ei]t = Weg : Zeit. Also neue Zeitdef[inition] kann Lichtgeschw[indigkeit] zu einer Konstanten machen.“.

## Seite 19:

Am Rand neben Gl. (18) steht: NB [nota bene (Nebenbemerkung)]! Hinweis auf variables  $c$  [Lichtgeschwindigkeit] \*) [Hinweis auf handschriftliche Fußnote am unteren Rand der Seite].

Im unteren Drittel der Seite ist in dem Satz „Das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit widerspricht ...“ das Wort „widerspricht“ gestrichen und durch „ist nicht vereinbar“ ersetzt worden.

---

<sup>122</sup>Diesen Hinweis verdankt Kopff vermutlich Heinrich Liebmann (1874-1939). Liebmann war ein Mathematiker, der sich besonders mit Differentialgeometrie und nichteuklidischer Geometrie beschäftigte. Er war seit 1920 Professor an der Heidelberger Universität und hatte offenbar Kopffs Buch genauer gelesen.

Am unteren Rand steht die oben angesprochenen Fußnote: „\*) Zweierlei hinzufügen[:] 1)  $c$  [*Lichtgeschwindigkeit*] später variabel[:] 2) wie kann  $c$  konstant sein? Zeitdefinition[.] Was folgt für die Zeit? Übergang zum Folgenden[.]“.

Seite 20:

Am Rand der Seite steht quer zum Text: „Hier Nachweis, daß Zeit relativ[,] und daraus 4[-]dim[*ensionales*] Kontin[uum] anschließen“.

Seite 21:

In der 3. Zeile des vorletzten Absatzes ist „ $t$ “ durch „ $\Delta t$ “ zu ersetzen.

Seite 22:

Am Rand ein Druckfehler notiert. In der 6. Zeile von unten muß es im Text richtig lauten: „ $t_B - t_A = t'_A - t_B$ “.

Seite 23:

Am unteren Rand steht der mit einem Pfeil versehene Hinweis: „erst später S. 42.“.

Seite 25:

Am Rand befindet sich hinter den ersten fünf Absätzen des § 3 (endend mit „... zu veranschaulichen.“) eine Markierung und der Hinweis „Bis hierher zu § 2 hinzu“.

Seite 28:

Am Rand neben Gl. (41) befindet sich der Hinweis: „Analogie mit 3 Dim[*ensionen*] siehe Eddington“.

Darunter steht ein weiterer (unabhängiger) Hinweis: „ist S. 32 gegeben.“.

Seite 30:

Am Rand ein Druckfehler notiert. Am Ende der Gl. (45) muß richtig stehen:  $n \neq o$ . Gemeint ist hier der Index  $o$  und nicht die Zahl 0.

Seite 35:

Etwas unterhalb der Mitte ist im Text der Begriff „zeitlicher Vektor“ unterstrichen. Daneben steht am Rand: „gibt Bewegung“.

Weiter unten steht am Rand neben dem Text „... die Zeit  $s/c$ “ der Hinweis „ $t =$ “. Gemeint ist wohl, daß in Zukunft im Text stehen soll: „... die Zeit  $t = s/c$ “.

Seite 38:

Am Rand steht in der Mitte der Hinweis: „Nullkegel“. Auf dem Nullkegel breitet sich das Licht aus ( $ds = 0$ ). Daher oft auch „Lichtkegel“ genannt.

Seite 41:

Am Rand steht (erneut) der Hinweis: „Nullkegel“.

Seite 45:

Neben Gl. (68) steht der Hinweis: „vergl[*eiche mit Gleichung*] (53)[.]  $\Delta t'$  ist die Eigenzeit“.

Seite 51:

Über dem zweiten Gleichheitszeichen der Gl. (77) ist ein Ungefährzeichen (Schlange) angebracht. Neben der Gl. (77) steht: „Nachrechnen“. Der Satz nach Gl. (77) ist eingeklammert. Daneben steht: „stimmt nicht ganz“.

Seite 52:

Am Ende von § 5 steht der Hinweis: „Invarianz der Newt[*onschen*] Gl[*eichungen*] als Beisp[*iel*] für das[*,*] was jetzt kommt“.

Seite 55:

Nach dem ersten Satz auf S. 55 steht: „An Cartes[*isches*] Koord[*inaten-system*] gebunden, da Bez[*eichnungen aus Gl.*] (83) benutzt.“.

Neben Gl. (88) steht nach einer angefügten, geschweiften Klammer: „inverse Transf[*ormation*]“.

In der 2. Zeile der Gl. (89) ist „ $\alpha$ “ durch „ $\alpha_{mo}$ “ zu ersetzen.

Seite 56:

Am Rand unten steht: „Ausführen[*:*] Inv[*arianz*] gegen Drehungen“.

Seite 64:

Unter Gl. (120) steht: „  $i, k = x, y, z$  “.

Seite 67:

Am Ende des zweiten Absatzes von § 7, nach einer Formel im Text, steht der Hinweis: „bleibt auch für schiefe Koord[*inaten*]syst[*eme*] bestehen[.] Eddingt[*on*]“.

In der 1. und 3. Zeile des letzten Absatzes ist das Wort „Nun“ bzw. „nun“ unterstrichen worden.

Seite 69:

In der 2. Zeile der Gl. (130) fehlt vor dem Gleichheitszeichen „ $a^{2'}$ “.

Seite 70:

Neben dem dritten Absatz (beginnend mit „Wenn in einem Term ...“) steht mit einer geschweiften Klammer der Hinweis: „gilt gar nicht für [Gl.] (131)“.

Am unteren Rand der Seite 70 steht der Hinweis:

„ Edd[*ington*]  
S. 43[:]

$$\begin{array}{ll} \text{I} & dx'_i = \frac{\partial x'_i}{\partial x_k} dx_k \\ \text{II} & \frac{\partial \varphi}{\partial x'_i} = \frac{\partial \varphi}{\partial x_k} \frac{\partial x_k}{\partial x'_i} \quad \text{“} \end{array}$$

Die Gleichung nach „I“ ist identisch mit Kopffs Gl. (132) auf derselben S. 70 oben. Den Gradienten eines Skalars (hier  $\partial\varphi/\partial x_k$ ) behandelt Kopff in seinem Buch später auf S. 79. Die Gleichung nach „II“ betrifft die Transformation eines solchen Gradienten.

Seite 72:

In der Textzeile vor Gl. (142) muß es statt  $a^k$  heißen:  $a_i^k$ .

Seite 74:

In den beiden Zeilen nach Gl. (149) fehlt jeweils ein Komma, wodurch der Sinn entstellt wird. Korrekt muß es heißen: „... eines Tensors II. Ranges, des gemischten Fundamentaltensors (vgl. § 12), darstellen.“.

Seite 80:

Von der 6. Zeile von oben zeigt ein Pfeil auf folgende Formeln, die am oberen Rand der Seite stehen:

„ Z.B. [Zum Beispiel] 
$$\begin{aligned} x' &= \alpha x + \beta y \\ y' &= \gamma x + \delta y \end{aligned}$$
 “.

Auf der linken Seite der Gl. (165) muß es im Zähler richtig heißen:  $\partial f_{ik}^l$ .

Seite 83:

Am Rand neben Gl. (174) steht:  $s^i$ . Da diese Bemerkung relativ groß und mit starkem blauen Stift geschrieben ist, soll sie vermutlich zur leichten Auffindung dieser vier Teil-Gleichungen dienen.

Seite 84:

In der 2. und 3. Zeile von oben ist das Wort „Viererpotential“ rot unterstrichen worden.

In der Zeile vor Gl. (182) sind die Worte „antisymmetrischen Tensor II. Ranges“ mit Bleistift unterstrichen worden. Dieselben Worte stehen auch in Handschrift am Rand. Vermutlich handelt es sich um eine Bemerkung zur leichteren Auffindbarkeit der Definition eines solchen Tensors.

Seite 85:

In der Textzeile über der Gl. (187) ist das Wort „vektoriellen“ durchgestrichen. Es soll durch „tensoriell[en]“ ersetzt werden.

Die beiden Gl. (187) und (188) sind mit rotem Bleistift unterstrichen worden.

Seite 86:

Am Ende der 1. Zeile von Gl. (189) muß „ $q_z$ “ durch „ $q'_z$ “ ersetzt werden.

Seite 87:

Im Text ist das gesperrt gedruckte Wort „Viererkraft“ mit rotem Bleistift unterstrichen worden.

Seite 93:

Im Text oberhalb der Gl. (216) soll vor das gesperrt gedruckte Wort „Impulsdichte“ das Adjektiv „mechan[ischen]“ eingefügt werden.

Seite 95:

In der Mitte der Seite steht am Rand: „Aberr[ation] fehlerfrei darstellen“. Siehe dazu unser Kapitel 4.7.6.

Seite 98:

Am Rand steht quer zum Text: „äußere Kraft anders einführen.“.

Am unteren Rand steht ein Hinweis, der durch einen Pfeil mit Gl. (231) verbunden ist: „Begründung Edd[ington] S. 101.“.

Seite 100:

In Gl. (239) fehlt nach „ $\frac{du^i}{ds}$ “ ein Gleichheitszeichen.

Seite 101:

Neben der Gl. (243) steht: „Man darf nicht Kraft = Masse  $\times$  Beschl[eunigung] definieren!“.

Neben Gl. (246) steht: „Sommerfeld S. 568. Laue I 212“.

Aus der Textzeile über Gl. (246) weist ein Pfeil vom Wort „folgt“ auf eine Bemerkung am unteren Rand hin: „Integr[atons-]Konstante für  $m = 0$  soll  $E = 0$  sein! An den Ann.[?]  $E_{kin}$  bei Sommerfeld“.

Seite 102:

Am oberen Rand steht der Hinweis: „Feinstruktur So[mm]erfeld 579“.

Seite 103:

Am oberen Rand steht der Hinweis: „Korpuskularstrahlung zeigt schon: Energie ist träge!“.

In der Literaturangabe in der Fußnote muß die Angabe des Zeitschriftenbandes korrekt „18“ lauten.

#### Seite 104:

Kopff glaubt (irrtümlich), daß bei der Literaturangabe in der Fußnote die Nummer des Zeitschriftenbandes von „17“ in „18“ zu verbessern wäre.

#### Seite 105

Im vorletzten Absatz muß die Angabe für den Massenverlust korrekt lauten:  $1/(9 \cdot 10^{20})$  g.

#### Seite 111

Am Ende des 2. Absatzes, der mit „... vorhanden sind.“ endet, steht ein Einfügezeichen, daß auf den Zusatz am unteren Rand der Seite verweist. Dort steht der Hinweis: „Wir beschränken darzu[?] die Gültigk[*eit*] der sp[*eziellen*] Rel[*ativitätstheorie*] auf unendl[*ich*] kleine R[*aum*-]Z[*eit*]-Gebiete oder auch auf solche Gebiete, für die die Grav[*itation*] außer betracht bleiben kann.“.

#### Seite 112

Am oberen Rand steht der Hinweis: „exp[*erimentell*] nachgewiesen Of[?].“.  
Ein Pfeil mit geschweifter Klammer zeigt an, daß sich dieser Hinweis auf die 5. und 6. Zeile von oben bezieht.

Am Rand steht der Hinweis: „Hat den Wert  $c$ “. Die Notiz bezieht sich auf den Satz, der in der 6. Zeile von oben mit „Jedoch“ beginnt.

#### Seite 115

Am Rand steht neben dem Zitat der Arbeit von Kohl: „Jahrb([*uch*?] Pra-ger“. Vermutlich ist es ein Hinweis auf den Artikel von R. Prager, „Die Fortschritte der Astronomie im Jahre 1921“, die 1922 in „Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften“, Band 1, und als Sonderdruck (25 S.) erschienen ist.

Am unteren Rand steht der Literatur-Hinweis: „J. Weber, Über die Rotverschiebung auf dem Sirius[,] A.N.[*Astronomische Nachrichten*] [*Band*] 217. [*S.*] 341. 1922.“. (Diese Arbeit bezieht sich auf Sirius A, nicht auf den Weißen Zwerg Sirius B.)

#### Seite 126

In der Fußnote <sup>1)</sup> sollen die Worte „und 4. Auflage“ durch „u[*nd*] ff.[*weitere*] Aufl[*agen*]“ ersetzt werden.

Am Rand neben der Fußnote <sup>3)</sup> steht die Notiz „ ? Edd[*ington*] S. 80.“.

### Seite 131

In der 1. und 2. Zeile nach Gl. (286) sind die Worte „Ein unendlich kleiner Maßstab“ und „System“ unterstrichen. Am Rand daneben steht der Hinweis: „falsch“.

Am unteren Rand steht der Hinweis: „Länge ist stets  $ds[,] ds = \sqrt{g_{11}} du_1[,]$  z.B. Anzahl der  $u_1$ -Linien ist für  $ds = 1$  nicht 1 .

### Seite 132

Hinter der Fußnote <sup>1)</sup> ist der Hinweis „Knoblauch S. 33.“ eingefügt worden. Gemeint ist sicher das 1888 erschienene Buch „Einleitung in die allgemeine Theorie der krummen Flächen“ von J. Knoblauch.

### Seite 133

In der 1. Zeile nach Gl. (292) ist das Wort „Invariante“ unterstrichen. Daneben befindet sich ein Stern, der auf eine Notiz am unteren Rand hinweist: „Nicht Inv[arianz] in dem Sinn, daß im gestr[ichenen] System die gestr[ichenen] Koord[inaten] einzusetzen sind. Neumann. Weyl S. 85. Hieran Inv[arianz] bezw.[beziehungsweise] Kovarianz der Naturges[etze] erläutern“.

In der 2. und 4. Zeile nach Gl. (292) ist jeweils das Wort „zugleich“ unterstrichen.

### Seite 134

Am oberen Rand steht der Hinweis: „ $dx, dy$  keine Parameterinkremente“.

### Seite 135

Am Beginn der 3. Zeile steht am Rand der Hinweis: „Eddington S. 72.“

Ungefähr in der Mitte der Seite ist das Wort „berechtigten“ unterstrichen. Am Rand daneben befinden sich zwei Fragezeichen.

### Seite 136

Ungefähr in der Mitte der Seite ist in zwei Zeilen jeweils das Wort „Frage“ unterstrichen.

### Seite 137

Neben der Gl. (296) steht der mit blauem Stift geschriebene Hinweis: „Nach Laue[,] Naturw[issenschaften] (1923)[,] nicht anwendbar. Dieser Hinweis be-

zieht sich auf die Kritik von Max von Laue in seiner Besprechung der 2. Auflage des Buches von Kopff (siehe Kapitel 4.4.7, Punkt (2a), und Kapitel 8.3.4).

Neben dem Absatz nach Gl. (296) steht am Rand der Hinweis: „Nach Eddingt[on] S. 81 genügt  $g_{44} > 0$ “.

#### Seite 138

Bei Gl. (297) ist eine Klammer vor der Gleichungsnummer ergänzt. Neben dieser Gleichung steht der Hinweis: „Eddingt[on] S. 81.“.

#### Seite 141

Am seitlichen Rand oben steht der Hinweis: „Gravit[at ions]feld ist relativ!“.

Der untere Teil des 2. Absatzes (von „Je nach der Beschaffenheit“ bis „Potentiale des Gravitationsfeldes.“) ist seitlich angestrichen. Daneben befindet sich der Hinweis: „ $g_{ik}$  hängen von der Wahl des Koord[inaten]syst[ems] ab“.

#### Seite 147

In der 6. Zeile von unten muß der untere Index in der eckigen Klammer „ $r$ “ und in der geschweiften Klammer „ $t$ “ lauten.

#### Seite 149

An der Gl. (328) befindet sich am inneren Rand ein Kreuz.

Im 1. Absatz ist der letzte Satz, „Zugleich ist ... invariant.“, eingeklammert worden. Daneben befindet sich am Rand ein Fragezeichen.

In der 2. Zeile des 3. Absatzes muß der Zähler in der eingebetteten Formel richtig lauten:  $\partial\nu$ .

#### Seite 150

Über der Gl. (332) ist eine weitere Gleichung eingefügt:

$$\text{„} \quad (331) \quad \psi_{ik} = \frac{\partial\psi_i}{\partial x_k} - \left\{ \begin{matrix} ik \\ t \end{matrix} \right\} \psi_t \quad \text{“}$$

Die Gleichungsnummern (331) und (331') sind allerdings bereits an andere Gleichungen weiter oben vergeben.

An der Gl. (332) befindet sich am linken Rand ein Kreuz.

### Seite 151

An den Gleichungen (340) und (341) befindet sich vorn jeweils ein Kreuz und hinten jeweils ein Pfeil, der zur Gl. (342) bzw. (343) führt. Die angestrebte neue Anordnung der vier Gl. (340) bis (343) ist vermutlich: (340), (342), (341), (343).

Hinter der Gl. (344) steht am Rand der Hinweis: „Divergenz Eddingt[on] S. 114“.

### Seite 155

In der 1. und 3. Zeile von oben ist jeweils das Wort „beschreiben“ unterstrichen worden.

Im oberen Viertel der Seite steht am Rand der Hinweis: „Für Ruhesystem vergl[eiche] S. 98 NB [Gl.] 226“.

Oberhalb von Gl. (353) sind die Worte „eines sich bewegenden Massenpunktes:“ rot unterstrichen.

### Seite 158

Am Rand steht neben der Zeile, die mit „§ 11“ beginnt, der Hinweis: „S. 135 die einzigen“.

Im Text in der Mitte der Seite sollen die Worte „in der Poissonschen Gleichung“ in Zukunft direkt hinter dem Wort „wie“ folgen, also direkt vor (und nicht hinter) der im Text eingebetteten Gleichung „ $\Delta\Phi = \dots$ “.

In der Zeile nach Gl. (360) ist das Wort „der“ gestrichen worden.

### Seite 159

Hinter der Gl. (365) steht am Rand der Hinweis: „Zugleich ähnlich wie [Gl.] (364), das als Spez[ial]fall enthalten sein muß“.

Vor dem Integralzeichen in Gl. (367) muß das Zeichen  $\partial$  durch das Variationszeichen  $\delta$  ersetzt werden

### Seite 170

Die Gleichungsnummern (413) und (415) sind blau unterstrichen.

## Seite 171

Die linke Seite der Gl. (419) ist blau unterstrichen.

Die beiden ersten Zeilen des Absatzes, der mit „Die Gravitationsgleichungen“ beginnt, sind mit Bleistift unterstrichen und am Rand markiert.

## Seite 175

Der Absatz, der mit „Im räumlich Unendlichen“ beginnt, ist durchgekennzeichnet (gestrichen). Die letzte Zeile ist nochmals ausgestrichen. Daneben steht der Hinweis: „Pauli[.] Thirring[.] NB: Brief von Thirring“. Den Brief von Thirring an Kopff vom 7. Juli 1922 geben wir in Kapitel 8.3.2 wieder.

Neben Gl. (430) steht der Hinweis: „Siehe Pauli S. 712“. Dabei ist die Seitenzahl 712 rot unterstrichen. Die Bemerkung Kopffs bezieht sich auf das Buch von Pauli (1921). Dieses Werk befand sich damals wie heute in der Bibliothek des Astronomischen Rechen-Instituts. Auf Seite 713 hat Kopff Druckfehler vermerkt. Bei Paulis Werk handelt es sich um eines der relativ wenigen „allgemeinen“ Bücher, die aus der Dahlemer Bibliothek in die Heidelberger Bibliothek des Instituts gelangt sind. Aufgrund des Dahlemer Institutsstempels handelt es sich nicht um ein Privatexemplar von Kopff.

In der letzten Zeile sind die Worte „statisches Gravitationsfeld“ unterstrichen worden. Daneben steht der Hinweis „oben bereits“.

## Seite 176

Die Zeile nach Gl. (434) ist durchgestrichen worden. Neben dieser Zeile steht am Rand der Hinweis: „Thirring“.

## Seite 179

In der zweiten und dritten Zeile sind die Worte von „Die Konstante“ bis „kommen“ unterstrichen worden.

## Seite 182:

In der unnummerierten Gleichung für  $B$  am Ende der Seite fehlt vor dem zweiten Integralzeichen ein Faktor 3.

## Seite 183

Am unteren Rand steht unter der Fußnote der (Literatur-)Hinweis: „J. Heppberger. Zur Ablenkung des Lichtes in Grav[itations]feldern. AN [Astro-nomische Nachrichten], [Band] 216. [S.] 321. 1922.“. Heppberger versucht in

dieser Arbeit einen Teil der Lichtablenkung an der Sonne durch eine hypothetische Refraktionserscheinung zu erklären, die „durch ein die Sonne umgebendes Medium“ hervorgerufen werden soll. Seine Hypothese ist nicht zu verwechseln mit der radial anders verlaufenden „Jährlichen Refraktion“ nach Courvoisier.

#### Seite 184

Die fehlerhafte Seitenzählung oben rechts wird korrigiert.

Am unteren Rand steht unter der Fußnote der (Literatur-)Hinweis: „Trefftz[:] Math[ematische] Annalen[,] B[an]d 86. 1922.“. Der Artikel beginnt auf S. 317 der Zeitschrift. Der Titel lautet: „Das statische Gravitationsfeld zweier Massenpunkte in der Einsteinschen Theorie“. Autor ist Erich Trefftz (1888-1937), der Vater der Astrophysikerin Eleonore Trefftz (1920- ).

#### Seite 195

In der Fußnote ist die Jahresangabe in „1918“ zu verbessern. Eigentlich ist ein größerer Teil der Literaturangabe durchgestrichen. Dazu besteht aber kein offensichtlicher Anlaß. Auf S. 700 steht der von Kopff zitierte Satz. Der gesamte Artikel beginnt auf S. 697.

#### Seite 198

Siehe Scan dieser Seite in Fig. 20.

Am Rand steht quer zum Text die Bemerkung: „Ob Grav[itationsgleichungen] II. &[und] III. Art endgült[ige] Lösung? Unbefriedigend.“. Kopff nennt die Einsteinschen Feldgleichungen mit Kosmologischer Konstante  $\lambda$  „Gravitationsgleichungen II. und III. Art“.

#### Seite 204

Am Rand des Sachregisters steht neben „Versuch von Fizeau ...“ der Hinweis: „Auch Fizeausch[er] Versuch etc.“. Gemeint ist wohl, daß im Sachregister die aufgeführten Versuche auch unter dem Namen der Person aufzufinden sein sollten (z.B. „Michelson-Versuch“ auch unter M und nicht nur unter V.)

#### 8.4.2 Notizen von Kopff auf einem Kalenderblatt vom Juni 1924

*Beschreibung:* Handschriftliche Notizen von Kopff mit Bleistift. Sie befinden sich auf der Rückseite eines abgerissenen Kalenderblatts für die 25. Woche vom 16. - 21. Juni 1924. 1 Blatt. 16,0 cm breit, 23,0 cm hoch. Bräunliches Papier. In Fig. 82 ist nur ein Ausschnitt (obere Hälfte) der Rückseite des Blatts dargestellt. Im dort gegebenen Scan ist zur besseren Lesbarkeit der Kontrast durch Bildbearbeitung erheblich verstärkt worden. Das Blatt befand sich im Privatexemplar der 2. Auflage des Buches von Kopff (1923a).

*Kommentar:* Die Notizen dienten entweder zur Vorbereitung einer 3. Auflage des Buches von Kopff oder, was wahrscheinlicher ist, zur Vorbereitung des Kopffschen Handbuchartikels über Relativitätstheorie. Dieser Handbuchartikel ist zwar erst 1928 erschienen, war aber bereits seit 1924 in Arbeit (siehe Kapitel 4.6). Die Bedeutung der Notizen ist z.T. nicht mehr voll zu erschließen<sup>123</sup>.

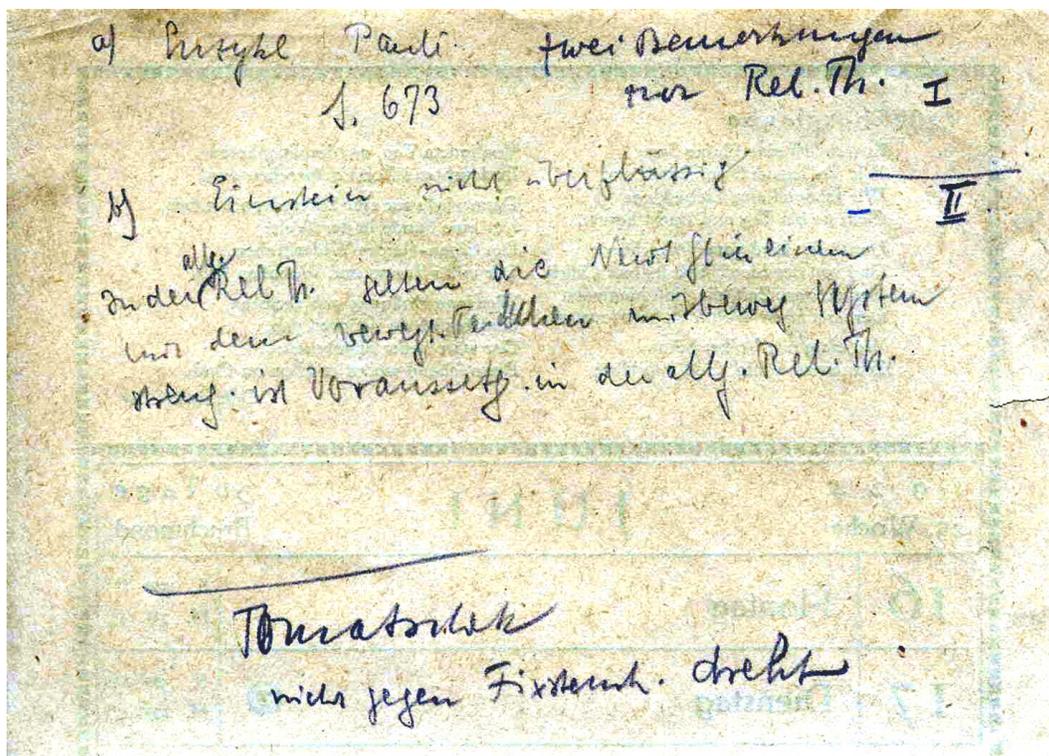


Fig. 82. Notizen von Kopff auf der Rückseite eines Kalenderblatts vom Juni 1924

<sup>123</sup>Der Text zu Punkt b) lautet:

Einstein[?] nicht überflüssig

In der allg[emeinen] Rel[ativitäts]-Th[eorie] gelten die Newt[onschen] Gl[eichungen] in einem mit dem bewegt[en] Teilchen mitbeweg[ten] System streng. ist Voraussetz[ung] in der allg[emeinen] Rel[ativitäts]-Th[eorie]

## 8.5 Kopffs Diskussion des Einstein-Universums von 1917

Es ist nicht unsere Absicht, das Buch von Kopff (1921a, 1923a) und seinen Lehrbuchartikel von 1928 in unserer Arbeit einer kritischen Besprechung zu unterziehen. Aber einen Punkt fanden wir doch so bemerkenswert, daß wir ihn hier ansprechen wollen. Es handelt sich um eine Behauptung Kopffs zu einem leeren Einstein-Universum und dessen Bedeutung, die er nahezu gleichlautend in allen drei der oben genannten Werke ausspricht. Kopff scheint auf diesen Punkt offenbar besonderen Wert gelegt zu haben. Wir finden seine Darstellung aber etwas irreführend.

Einstein hatte 1917 die Allgemeine Relativitätstheorie auf die Kosmologie, d.h. auf die Struktur der Welt im Großen, angewandt. Einstein strebte dabei ein stationäres (d.h. ein zeitlich sich nicht veränderndes) Universum an. Um die zusammenziehende Wirkung der Gravitation auszugleichen, führte er dort die sogenannte „Kosmologische Konstante  $\lambda$ “ ein, die einer Abstoßung entspricht. Es ergibt sich ein räumlich positiv gekrümmtes, sphärisches Universum mit einem zeitlich konstanten Radius  $a$  und einem endlichen Volumen.

Kopff beschreibt dieses stationäre Einstein-Universum von 1917 ausführlich und sehr übersichtlich in seinen Werken. Wir folgen hier als Beispiel der zweiten Auflage seines Buches (Kopff 1923a), wo diese Frage in § 13 behandelt wird. Wir geben in Fig. 83 den Scan der Seite 172 wieder. Die im Folgenden zitierten Gleichungen findet man dort.

Kopff schreibt nach Gleichung (428): „Aus dieser Gleichung geht hervor, daß, sobald die Gesamtmasse  $M$  [*des Universums*] verschwindet, auch der Radius  $a$  des sphärischen Raums null wird. Die Existenz des Raumes ist also völlig an die Materie gebunden; sobald keine Materie vorhanden ist, hat es keinen Sinn, von einem Raum und einer Bewegung oder einer Geometrie in diesem zu sprechen.“. Wir halten diese Aussage im Ergebnis für irreführend.

Natürlich stimmt es, daß aus  $M = 0$  nach Gl. (428)  $a = 0$  folgt. Mit  $M = 0$  will Kopff offenbar ein leeres Universum beschreiben. Hier tritt im Einstein-Universum aber ein Paradoxon auf, das Kopff entweder nicht gesehen hat oder aber nicht ansprechen wollte. Es betrifft die Frage: Wann ist ein solches Universum leer? Wir haben zwei Möglichkeiten, ein „leeres“ Einstein-Universum zu definieren: (1) Seine Gesamtmasse  $M$  ist null. (2) Die lokale Massendichte  $\mu_0$  ist überall null <sup>124</sup>.

---

<sup>124</sup>Wir würden heute normalerweise die Bezeichnung  $\rho$  statt  $\mu_0$  wählen, wie es auch Einstein in seiner Originalpublikation getan hat

(1) Fall  $M = 0$ :

Aus Gl. (428), 1. und 3. Teil, folgt dann  $a = 0$ . Setzt man diesen Wert von  $a$  in Gl. (427), 3. und 4. Teil, ein, so ergibt sich eine unendlich große Massendichte  $\mu_0$ . Der Krümmungsradius  $a = 0$  entspricht geometrisch auch einer unendlich starken Krümmung.

(2) Fall  $\mu_0 = 0$ :

Aus Gl. (427), 3. und 4. Teil, folgt  $a = \sqrt{2/(\kappa\mu_0)}$ . Der Weltradius  $a$  verhält sich also umgekehrt proportional zur Wurzel aus  $\mu_0$ . Falls  $\mu_0$  gegen null geht, strebt  $a$  und damit auch das Volumen des Raumes gegen unendlich. Der Raum wird flach, die Metrik  $g_{\mu\nu}$  der Raum-Zeit nähert sich der Minkowski-Metrik. Wenn man die oben abgeleitete Beziehung mit  $a \propto 1/\sqrt{\mu_0}$  in den 3. Teil von Gl. (428) einsetzt, so erkennt man, daß die Gesamtmasse des Universums  $M$  sich umgekehrt proportional zur Wurzel aus  $\mu_0$  verhält:  $M \propto 1/\sqrt{\mu_0}$ . Wenn also die Massendichte  $\mu_0$  gegen null geht, strebt  $M$  gegen unendlich.

Das Paradoxon des Einstein-Universums besteht also darin, daß man für eine verschwindende Gesamtmasse  $M$  eine unendliche Massendichte  $\mu_0$  in einem unendlich kleinen Universum erhält<sup>125</sup>. Dagegen liefert eine verschwindende Massendichte  $\mu_0$  ein unendlich großes, flaches Universum mit unendlicher Gesamtmasse.

Für ein „leeres“ Universum erscheint uns der Fall (2) mit verschwindender Massendichte  $\mu_0$  eher repräsentativ. Hier verschwindet der Raum und seine Metrik  $g_{\mu\nu}$  aber keineswegs, sondern er geht in einen Raum mit Minkowski-Metrik über.

Im Fall (1) mit  $M = 0$  und der daraus resultierenden unendlich großen Massendichte  $\mu_0$  und der unendlich starken Krümmung ( $a = 0$ ) zieht sich der Raum zwar auf einen Punkt zusammen. Aber dieser doch entartete Fall rechtfertigt wohl nicht die weitreichende Aussage (z.B. auch noch bei Kopff 1928, S. 573), daß die Existenz des Raumes an die Materie gebunden sei.

Wir haben den Eindruck, daß Kopff in dieser Frage die ursprünglichen Ideen von Einstein weiterverfolgen wollte. Wie wir bereits in Kapitel 4.7.2 zitiert haben, war Einstein zunächst auch der Meinung, ein Raum ohne Materie sei unplausibel: „Es wäre nach meiner [*d.h. Einsteins*] Meinung unbefriedigend, wenn es eine denkbare Welt ohne Materie gäbe. Das  $g_{\mu\nu}$ -Feld soll vielmehr durch die Materie bedingt sein, ohne dieselbe nicht bestehen können.“. Von Einstein selbst sind uns keine Überlegungen zu einem „leeren Einstein-Universum“, wie Kopff sie angestellt hat, bekannt.

---

<sup>125</sup>Ein ähnliches Paradoxon tritt auch in positiv gekrümmten Friedmann-Modellen mit  $\lambda=0$  auf. Auch dort sinkt die Gesamtmasse  $M$  des Universums monoton mit zunehmender heutiger Massendichte  $\rho_0$  (bzw. mit wachsendem heutigem Dichteparameter  $\Omega_0$ ).  $M$  ist hier proportional zu  $\Omega_0/(\Omega_0 - 1)^{3/2}$  bei gegebener Hubble-Konstante  $H_0$ . Wenn  $\rho_0$  (bzw.  $\Omega_0$ ) also gegen unendlich strebt, geht  $M$  gegen null ( $M \propto 1/\sqrt{\Omega_0}$  für  $\Omega_0 \gg 1$  und gegebenes  $H_0$ ). Für flache oder negativ gekrümmte Friedmann-Modelle mit  $\lambda=0$  ist  $M$  dagegen stets unendlich groß. Der Fall  $\rho_0=0$  ist entartet. Wenn man sich  $\rho_0=0$  aber nur asymptotisch annähert, bleibt  $M$  immer unendlich groß.

$$(423) \quad \begin{array}{cccc} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & +1 \end{array}$$

an. Die ersten Differentialquotienten aller  $g_{ik}$  werden wegen (419) null. Der Tensor  $R_{ik}$  nimmt also den speziellen Wert an:

$$(424) \quad R_{ik} = \frac{\partial}{\partial x_1} \begin{bmatrix} ik \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{\partial}{\partial x_2} \begin{bmatrix} ik \\ 2 \end{bmatrix} + \frac{\partial}{\partial x_3} \begin{bmatrix} ik \\ 3 \end{bmatrix} + \frac{\partial}{\partial x_k} \begin{Bmatrix} ir \\ r \end{Bmatrix}.$$

Hierin ist  $i, k = 1, 2, 3$  zu setzen. Die Ausrechnung ergibt:

$$(425) \quad \begin{aligned} R_{ik} &= -\frac{2}{a^2} \text{ für } i = k \\ R_{ik} &= 0 \text{ für } i \neq k, \end{aligned}$$

so daß die Gravitationsgleichungen (405) auf die Beziehung:

$$(426) \quad -\frac{2}{a^2} + \lambda = -\frac{\kappa \mu_0}{2}$$

führen. Die Gravitationsgleichungen werden also durch eine räumlich geschlossene, endliche Welt befriedigt, wenn:

$$(427) \quad \lambda = \frac{R_0}{4} = \frac{\kappa \mu_0}{2} = \frac{1}{a^2}$$

ist. Der Radius  $a$  des sphärischen Raumes steht in einfacher Beziehung zu unserer Konstanten  $\lambda$  bzw. dem Krümmungsskalar  $R_0$ . Das Volumen unseres Raumes ist  $2\pi^2 a^3$ . Die Gesamtmasse der Welt ist demnach:

$$(428) \quad M = \mu_0 \cdot 2\pi^2 a^3 = 4\pi^2 \frac{a}{\kappa}.$$

Aus dieser Gleichung geht hervor, daß, sobald die Gesamtmasse  $M$  verschwindet, auch der Radius  $a$  des sphärischen Raumes null wird. Die Existenz des Raumes ist also völlig an die Materie gebunden; sobald keine Materie vorhanden ist, hat es keinen Sinn, von einem Raum und einer Bewegung oder einer Geometrie in diesem zu sprechen. Durch die Erweiterung der ursprünglichen Gravitationsgleichungen (I. Art) ist also der Relativitätsgedanke zu Ende gedacht.

Die Trägheit eines sich bewegenden Massenpunktes ist nun ausschließlich durch die ganze im Weltall vorhandene Materie bedingt. Setzt man die durch die Gleichungen (413), (415) und (419) gegebenen  $g_{ik}$  in die Bewegungs-

## 8.6 Brief von D. Müller (Neffe von Kopff) an Einstein vom 2. Juli 1945

*Beschreibung:* Das Original dieses Briefes liegt in den Albert-Einstein-Archives in Jerusalem. Der Brief trägt dort die Archival Call Number 14-314. Uns liegt eine schwarz-weiße Papierkopie vor, die von einer Mikrofilmaufnahme des Briefes hergestellt wurde. Der Text ist gut lesbar.

Der Originalbrief ist auf einem speziellen Vordruck für Kriegsgefangenenpost geschrieben. Der Vordruck besteht aus einem zu faltenden Blatt. Die Textseite hat 24 vorgezogene Linien. Dadurch war der maximale Umfang des Textes vorgegeben. Müller hat diese Vorgabe voll ausgenutzt. Die andere Seite trägt vorgedruckte Zeilen für die Anschriften von Empfänger und Absender (siehe unsere unten folgende Textedition). Der in unserer Edition genannte „2. Stempel“ bedeutet vermutlich einerseits, daß der Brief die Zensur des britischen Kriegsgefangenenlagers passiert hatte, und andererseits eine Art „Freistempelung“ für den Postversand, weil Gefangenenpost nach internationalen Vereinbarungen gebührenfrei ist.

*Kommentar:* Dieter Müller war ein entfernter Neffe von Kopff. Nach der Erinnerung von Paula Kopff, der Witwe von Kopffs Sohn Otto, war er ein Verwandter (vielleicht der Sohn eines Cousins) der Ehefrau von Kopff, Margarethe geb. Hormuth. Frau Paula Kopff hat Dieter Müller 1941 bei der Familie Kopff in Berlin-Dahlem getroffen. Sie erinnert sich, daß er Medizin studierte. Sein von ihr geschätztes Alter stimmt ungefähr mit dem unten angegebenen Geburtsjahr (1917) überein.

Mit höchster Wahrscheinlichkeit ist der hier angesprochene Dieter Müller identisch mit dem Dieter Müller, der am 12. Januar 1942 an der Medizinischen Fakultät der Universität Wien mit einer Arbeit über „Die Menge des Kohlenoxydhaemoglobins bei tödlichen Vergiftungen“ promoviert hat. Dieser Dissertation ist ein Lebenslauf beigelegt. Danach wurde Dieter Müller am 9. Januar 1917 als Sohn des Studienrats Dr. Georg Müller und dessen Frau Elsbeth geb. Meseck in (Berlin-)Lankwitz geboren. Die Familie wohnte später in Berlin-Lichterfelde-West. Sein Abitur legte er im März 1935 am Schiller-Gymnasium in Lichterfelde ab. Er studierte Medizin in Breslau, Kiel, Berlin und Wien. In Wien legte er seine ärztliche Prüfung ab und erhielt im Dezember 1940 seine Bestallung als Arzt. Bereits seit Herbst 1938 war er aktiver Sanitäts-offiziersanwärter. Zur Zeit seiner Promotion arbeitete er als Assistenzarzt der Luftwaffe in einem Luftwaffenlazarett. Später war er wohl als Oberarzt bei den deutschen Streitkräften tätig und geriet im August 1944 (in der Normandie?) in Kriegsgefangenschaft. Sein Kriegsgefangenenlager (Prisoner-of-War Camp No. 18) lag in Featherstone Castle bei Haltwhistle im englischen Northumberland nahe der schottischen Grenze. Dort wurden ungefähr 7000 deutsche

Offiziere gefangengehalten. Wie lange Müller in Gefangenschaft blieb, wissen wir nicht (Die letzten deutschen Kriegsgefangenen verließen Großbritannien am 12. Juli 1948).

Wir haben über das Schicksal von Dieter Müller nach seiner Kriegsgefangenschaft keine Informationen finden können. Auch Frau Paula Kopff berichtet, daß die Familie Kopff keine Verbindung mehr zu ihm hatte, aber sich noch lange die Frage gestellt hat, was wohl aus ihm geworden sei. Über die Kriegsgefangenschaft von Dieter Müller war Kopff offenbar nicht informiert, auch nicht über dessen Brief an Einstein.

Müller hatte den Brief an Einstein nach Princeton adressiert. Der Brief traf erst nach über einem Monat in Princeton ein. Vielleicht dauerte die Zensur des Briefes so lange. Einstein befand sich im August 1945 aber nicht in Princeton, sondern auf Urlaub im Cottage 6 des Knollwood Clubs in Saranac Lake im Staate New York (Dies ist auch dadurch belegt, daß Einstein dort die Nachricht erreichte, am 6. August 1945 sei eine Atombombe auf Hiroshima abgeworfen worden). Müllers Brief wurde wegen Einsteins Urlaub also nach Knollwood umgeleitet, wie es die Adressen-Seite des Briefes beweist.

Bezüglich des Inhalts des Briefs verweisen wir auf unsere Ausführungen in Kapitel 5.

**Volltext:**

[Seite 1 (Innenseite):]

England, 2. VII. 45. [2. Juli 1945.]

Sehr geehrter Herr Professor!

Durch einen Zufall las ich vor einigen Tagen in einer englischen Zeitschrift Ihre Adresse. So kann ich Ihnen heute endlich die Grüße meines Onkels übermitteln, die er mir vor 2 Jahren aufgetragen hat, als ich zur ärztlichen Ausbildung nach Madrid fahren sollte. Mein Onkel ist Ihr früherer Mitarbeiter Prof. Dr. August Kopff aus Berlin-Dahlem. Er war zuletzt Prof[essor] für Astronomie und Direktor des Kopernikus-Instituts (früher Astronomisches Recheninstitut) in Berlin. Seit meiner Gefangennahme im August 1944 habe ich keine Nachricht mehr von ihm, weiß nicht, ob er noch lebt und wo er sich jetzt aufhält. Aus Erzählungen meines Onkel und meiner Tante weiß ich, daß er in den Jahren bis 1933 mit Ihnen, verehrter Herr Professor, einen engen wissenschaftlichen und persönlichen Kontakt hatte. Er war einer der wenigen, die wußten, was Deutschland verloren hatte, als Sie 1933 aus politischen Gründen auswandern mußten. Mein Onkel hat es sehr bedauert, daß er die Verbindung mit Ihnen verloren hat bzw. verlieren mußte. Wenn durch diesen Brief die Verbindung wieder hergestellt würde, so wäre es eine große Freude für mich. Sobald ich wieder Nachricht von meinem Onkel habe, werde ich Ihnen berichten.

Mit den besten Wünschen für Ihr persönliches Wohlergehen bin ich  
Ihr ergebener  
Dieter Müller.

[Dieser Brief ist urheberrechtlich geschützt. Das Original befindet sich in den Albert Einstein Archives der Hebrew University of Jerusalem.]

[Seite 2 (Außenseite mit Anschriften):]

PRISONER OF WAR POST.  
SERVICE DES PRISONNIERS DE GUERRE.  
KRIEGSGEFANGEN[N]ENPOST.

[In der Mitte und rechts drei Stempel nebeneinander:]

[1. Stempel, rund, innen mit der Beschriftung:]

PRINCETON, N.J.

AUG[*UST*] 13

1130 AM

1945

[2. Stempel, kleinerer Kreis, darin große 1, oberhalb und unterhalb des Kreises Verzierungen.]

[3. Stempel, rund, innen mit der Beschriftung:]

P. O. W. CAMP

No. 18

GREAT BRITAIN

Written in German

TO

A

AN

Mr. Einstein, Esqu.

Professor of University

Princeton N.Y.[*sic*]

Institute for Advanced Study

[*Gestrichen:*]

[*Gestrichen:*]

U.S.A.

[*Umleitungsadresse hinzugefügt:*]

Knollwood

Saranac Lake, N.Y.

[*Darunter ein für uns nicht lesbarer Hinweis, der vermutlich erst später (1978 ?) hinzugefügt worden ist. Ein ähnlicher Hinweis befindet sich am linken Rand.*]

FROM.

MITTENTE.

ABSENDER.

Oberarzt Dr. Dieter Müller H. „P.P.“

NOME.

VOR UND ZUNAME.

PRIG. DI GUERRA NO.

A 767694

GEFANGENENUMMER

P. O. W. Camp 18

Great Britain

[Dieser Brief ist urheberrechtlich geschützt. Das Original befindet sich in den Albert Einstein Archives der Hebrew University of Jerusalem.]

## 9 Literaturverzeichnis

### Erläuterungen:

An einer Reihe von Einträgen im Literaturverzeichnis sind am Ende in eckigen Klammern Hinweise darauf angebracht, ob sich ein Exemplar des Werks in Kopffs Privatbesitz befunden hat und ob Kopff in diesem Privatexemplar Notizen oder Unterstreichungen angebracht hat:

[*P*]: Von diesem Werk besaß Kopff ein Privatexemplar. Dieses befindet sich heute im Besitz der Autoren.

[*P(ARI)*]: Von diesem Werk besaß Kopff ein privates Exemplar. Dieses befindet sich heute in der Bibliothek des Astronomischen Rechen-Instituts (*ARI*).

[*N*]: In diesem Werk aus dem Privatbesitz von Kopff sind handschriftliche Notizen von Kopff und (oft farbige) Unterstreichungen enthalten.

### Bemerkungen:

Die Bücher und Sonderdrucke aus Kopffs Privatbesitz, die sich heute im Besitz der Autoren befinden, wurden um 1970 von R.W. käuflich erworben. Die Werke aus Kopffs Privatbibliothek wurden damals im Seminarraum des Astronomischen Rechen-Instituts angeboten. Sie waren vermutlich zunächst in den Besitz von Frau Dr. Helene Nowacki übergegangen, die bis zu ihrer Pensionierung 1969 Hauptobservatorin am Institut war und die mit Kopff befreundet gewesen war. Wahrscheinlich nach ihrer Pensionierung, spätestens aber nach ihrem Tod 1972 wurden die meisten Werke dann den Institutsmitgliedern zum Kauf angeboten. Es handelte sich dabei um erheblich mehr Bücher und Sonderdrucke als die im folgenden Literaturverzeichnis aufgeführten. Wir haben nur diejenigen zitiert, die für unsere hier vorgelegte Arbeit relevant sind.

Im Gegensatz zu den privaten Büchern und Sonderdrucken von Kopff ist leider die wissenschaftliche Privatkorrespondenz von Kopff weder im Astronomischen Rechen-Institut noch bei den Familien der Söhne von Kopff oder anderen Privatpersonen überliefert. Wir konnten sie zumindest an keiner dieser Stellen ermitteln. Ihr Verbleib ist daher unklar und man muß diesbezüglich wohl mit einem vollständigen Verlust rechnen.

## Literaturverzeichnis:

- Anonym 1923: Die Sonnenfinsternis-Expedition nach der Weihnachtsinsel bei Java [*Referat nach Berichten von A. Kopff*]. Sirius, Band 56 (neue Folge: Band 51), S. 67.
- Astronomisches Rechen-Institut 1957a: Individuelle Verbesserungen des FK3 nördlich von -30 Grad Deklination. Veröffentlichungen des Astronomischen Rechen-Instituts Heidelberg. Nr. 6. G. Braun, Karlsruhe. 24 S.
- Astronomisches Rechen-Institut 1957b: Individuelle Verbesserungen des FK3 südlich von -30 Grad Deklination. Veröffentlichungen des Astronomischen Rechen-Instituts Heidelberg. Nr. 7. G. Braun, Karlsruhe. 11 S.
- Astronomisches Rechen-Institut 1963: Preliminary Supplement to the Fourth Fundamental Catalogue (FK4 Sup). Veröffentlichungen des Astronomischen Rechen-Instituts Heidelberg. Nr. 11. G. Braun, Karlsruhe. 47 S.
- Barbour, J. B., Pfister, H. (Herausgeber) 1995: Mach's Principle. From Newton's Bucket to Quantum Gravity. Einstein Studies. Vol. 6. Birkhäuser, Boston u.a. . 536 S.
- Bauer, H. 1918: Über die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes. Physikalische Zeitschrift, 19. Jahrgang, S. 163.
- Beck, G. 1929: Allgemeine Relativitätstheorie. In: Handbuch der Physik, Band 4: Allgemeine Grundlagen der Physik. Redigiert von H. Thirring. Julius Springer, Berlin. S. 299.
- Berliner Astronomisches Jahrbuch: Eine vollständige Bibliographie aller 184 Bände des Berliner Astronomischen Jahrbuchs ist in der Datenbank ARIPRINT des Astronomischen Rechen-Instituts enthalten und unter folgendem Link aufrufbar: <http://www.ari.uni-heidelberg.de/publikationen/baj/> .
- Born, M. 1920: Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen. Gemeinverständlich dargestellt. [1. Auflage]. Julius Springer, Berlin. 242 S.
- Born, M. 1921: Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen. Elementar dargestellt. 2., umgearbeitete Auflage. Julius Springer, Berlin. 261 S.
- Born, M. 1922: Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen. Elementar dargestellt. 3., verbesserte Auflage. Julius Springer, Berlin. 267 S. [Weitere Auflagen ab 1964.]

- Born, M. 2001: Die Relativitätstheorie Einsteins. Kommentiert und erweitert von J. Ehlers und M. Pössel. 6. Auflage. Springer, Berlin u.a. . 470 S.
- Campbell, W. W. 1923: The Total Eclipse of the Sun, September 21, 1922. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 35, S. 11.
- Campbell, W. W., Trumpler, R. 1923a: Observations on the Deflection of Light in Passing Through the Sun's Gravitational Field, Made During the Total Solar Eclipse of Sept. 21, 1922. Lick Observatory Bulletin, Vol. 11, S. 41 (No. 346).
- Campbell, W. W., Trumpler, R. 1923b: Observations on the Deflection of Light in Passing Through the Sun's Gravitational Field, Made During the Total Solar Eclipse of September 21, 1922 [*im Original irrtümlich: 1923*]. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 35, S. 158.
- Campbell, W. W., Trumpler, R. 1928: Observations Made with a Pair of Five-Foot Cameras on the Light-Deflections in the Sun's Gravitational Field at the Total Eclipse of September 21, 1922. Lick Observatory Bulletin, Vol. 13, S. 130 (No. 397).
- Charlier, C. V. L., Engström, F. 1904: Porträtgalerie der Astronomischen Gesellschaft. Porträts nebst genealogischen Notizen. Hasse W. Tullberg, Stockholm. 70 S.
- Courvoisier, L. 1948: Vorläufige Ergebnisse der Bestimmung parallaktischer Eigenbewegungen am Großbogenmesser in Babelsberg. Astronomische Nachrichten, Band 276, S. 97.
- Courvoisier, L. 1951: Zur Bestimmung der „LORENTZ-Kontraktion“ und der „absoluten“ Erdbewegung. Astronomische Nachrichten, Band 280, S. 61.
- Courvoisier, L. 1962: Der Großbogenmesser, ein neues astronomisches Instrument. Die Sterne, 38. Jahrgang, S. 93 (mit einem Vorwort von J. Dick).
- Darwin, G. H. 1898: The Tides and Kindred Phenomena in the Solar System. [*First English Edition.*] John Murray, London. 342 S.
- Darwin, G. H. 1901: The Tides and Kindred Phenomena in the Solar System. Second English Edition. John Murray, London. 346 S.
- Darwin, G. H. 1902: Ebbe und Flut sowie verwandte Erscheinungen im Sonnensystem. Autorisierte deutsche Ausgabe nach der zweiten englischen Auflage [*übersetzt*] von Agnes Pockels. Mit einem Einführungswort von Georg von Neumayer. [*1. Auflage der deutschen Übersetzung.*] B. G. Teubner, Leipzig. 344 S.

- Darwin, G. H. 1911a: The Tides and Kindred Phenomena in the Solar System. Third English Edition. John Murray, London. 437 S.
- Darwin, G. H. 1911b: Ebbe und Flut sowie verwandte Erscheinungen im Sonnensystem. Autorisierte deutsche Ausgabe nach der dritten englischen Auflage [*übersetzt*] von Agnes Pockels. Mit einem Einführungswort von Georg von Neumayer. [*2. Auflage der deutschen Übersetzung.*] B. G. Teubner, Leipzig. 420 S.
- de Sitter, W. 1916a: On the relativity of rotation in Einstein's theory. Sonderdruck (6 S.) von: Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings [*of the section of sciences*]. Vol. XIX, S. 527. [*P, N, Sonderdruck*].
- de Sitter, W. 1916b: On Einstein's Theory of Gravitation, and its Astronomical Consequences. First Paper. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 76, p. 699.
- de Sitter, W. 1917: On the relativity of inertia. Remarks concerning Einstein's latest hypothesis. Sonderdruck (9 S.) von: Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings [*of the section of sciences*]. Vol. XIX, S. 1217. [*P, N, Sonderdruck*].
- de Sitter, W. 1927: On the secular accelerations and the fluctuations of the longitudes of the moon, the sun, Mercury and Venus. Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands, Vol. 4, p. 21.
- de Sitter, W. 1932: Kosmos. A Course of Six Lectures on the Development of our Insight into the Structure of the Universe, delivered for the Lowell Institute in Boston, in November 1931. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 138 S. [*P, N*].
- Drüll, D. 1986: Heidelberger Gelehrtenlexikon 1803-1932. Springer, Berlin, Heidelberg u.a. . 324 S.
- Drüll, D. 2009: Heidelberger Gelehrtenlexikon 1933-1986. Springer, Berlin und Heidelberg. 714 S.
- Duncombe, R. L. 1956: The Motion of Venus 1750-1949. Astronomical Journal, Vol. 61, p. 266.
- Dyson, F. W., Eddington, A. S., Davidson, C. 1920: A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character, Vol. 220, S. 291.

- Eddington, A. S. 1920: Space, Time and Gravitation. An Outline of the General Relativity Theory. Cambridge University Press, Cambridge. 218 S. Wiederabdrucke 1920, 1921, 1923 und später.
- Eddington, A. S. 1923a: Raum, Zeit und Schwere. Ein Umriß der allgemeinen Relativitätstheorie. Ins Deutsche übertragen von W. Gordon. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 204 S.
- Eddington, A. S. 1923b: The Mathematical Theory of Relativity. [1. Auflage.] Cambridge University Press, Cambridge. 247 S. [*P(ARI)*, *N*].
- Eddington, A. S. 1924: The Mathematical Theory of Relativity. 2. Auflage. Cambridge University Press, Cambridge. 270 S.
- Eddington, A. S. 1925: Relativitätstheorie in mathematischer Behandlung. Autorisierte und mit Zusätzen und Erläuterungen versehene Übersetzung von A. Ostrowski und H. Schmidt. Mit einem Anhang: Eddingtons Theorie und Hamiltonsches Prinzip. Von A. Einstein. Julius Springer, Berlin. 377 S. [*P*, *N*].
- Einstein, A. 1905: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Annalen der Physik, Band 322 (4. Folge, Band 17), S. 891.
- Einstein, A. 1911: Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes. Annalen der Physik, Band 340 (4. Folge, Band 35), S. 898.
- Einstein, A., Grossmann, M. 1913: Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation: 1. Physikalischer Teil von Albert Einstein. 2. Mathematischer Teil von Marcel Grossmann. B. G. Teubner, Leipzig und Berlin. 38 S.
- Einstein, A. 1915a: Zur allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1915, S. 778.
- Einstein, A. 1915b: Zur allgemeinen Relativitätstheorie (Nachtrag). Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1915, S. 799.
- Einstein, A. 1915c: Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1915, S. 831.
- Einstein, A. 1915d: Die Feldgleichungen der Gravitation. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1915, S. 844.

- Einstein, A. 1916: Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Johann Ambrosius Barth, Leipzig. 64 S. Abdruck aus: Annalen der Physik, Band 351 (4. Folge, Band 49), S. 769.
- Einstein, A. 1917a: Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1917, S. 142.
- Einstein, A. 1917b: Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (gemeinverständlich). [1. Auflage.] Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 70 S. [Von diesem Werk erschienen bis in die Gegenwart zahlreiche Neuauflagen.]
- Einstein, A. 1918a: Notiz zu E. Schrödingers Arbeit „Die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes“. Physikalische Zeitschrift, 19. Jahrgang, S.115.
- Einstein, A. 1918b: Bemerkung zu Herrn Schrödingers Notiz „Über ein Lösungssystem der allgemein kovarianten Gravitationsgleichungen“. Physikalische Zeitschrift, 19. Jahrgang, S. 165.
- Einstein, A. 1918c: Kritisches zu einer von Hrn. DE SITTER gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1918, S. 270.
- Einstein, A. 1920: Äther und Relativitätstheorie: Rede gehalten am 5. Mai 1920 an der Reichs-Universität zu Leiden. Julius Springer, Berlin. 15 S. [*P*, *N*].
- Einstein, A. 1921: Geometrie und Erfahrung: erweiterte Fassung des Festvortrages, gehalten an der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27. Januar 1921. Julius Springer, Berlin. 20 S. [*P*, *N*].
- Einstein, A. 1931: Zum kosmologischen Problem der allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Jahrgang 1931, S. 235.
- Einstein, A., de Sitter, W. 1932: On the Relation Between the Expansion and the Mean Density of the Universe. Proceedings of the National Academy of Sciences (of the USA), Vol. 18, S. 213.
- Einstein, A. 1987ff: The Collected Papers of Albert Einstein. Bis 2012 sind 13 Bände erschienen. Weitere Bände in Vorbereitung. Diverse Herausgeber. Princeton University Press, Princeton.
- ESA 1997: The Hipparcos and Tycho Catalogues. Astrometric and Photometric Star Catalogues derived from the ESA Hipparcos Space Astrometry Mission. ESA SP-1200. 17 Bände.

- Evershed, J. 1923: Report of the Indian Eclipse Expedition to Wallal, West Australia. Kodaikanal Observatory Bulletin, Vol. 4, S. 45 (No. 72).
- Ferrari d'Occhieppo, K. 1976: Nachruf auf Josef Hopmann. Mitteilungen der Astronomischen Gesellschaft, Nr. 40, S. 7.
- Finlay Freundlich, E.: siehe auch: Freundlich, E.
- Finlay Freundlich, E. 1923: Holländisch-Deutsche Sonnenfinsternis-Expedition nach Christmas Island. Astronomische Nachrichten, Band 218, S. 13.
- Finlay-Freundlich, E. 1964: Betrachtungen zu dem Problem der Schwere des Lichts. Zeitschrift für Astrophysik, Band 58, S. 283.
- Fölsing, A. 1993: Einstein. Eine Biographie. Suhrkamp, Frankfurt am Main. 959 S.
- Freiesleben, H.-C. 1962: Max Wolf. Der Bahnbrecher der Himmelsphotographie 1863-1932. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart. 241 S.
- French, A. P. 1999: The Strange Case of Emil Rupp. Physics in Perspective, Vol. 1, S. 3.
- Freundlich, E.: siehe auch: Finlay Freundlich, E.
- Freundlich, E. 1913: Über einen Versuch, die von A. Einstein vermutete Ablenkung des Lichtes in Gravitationsfeldern zu prüfen. Astronomische Nachrichten, Band 193, S. 369.
- Freundlich, E. 1914: Über die Verschiebung der Sonnenlinien nach dem roten Ende des Spektrums auf Grund der Äquivalenzhypothese von Einstein. Astronomische Nachrichten, Band 198, S. 265.
- Freundlich, E. 1915a: Über die Erklärung der Anomalien im Planeten-System durch die Gravitationswirkung interplanetarer Massen. Astronomische Nachrichten, Band 201, S. 49.
- Freundlich, E. 1915b: Über die Gravitationsverschiebung der Spektrallinien bei Fixsternen. Astronomische Nachrichten, Band 202, S. 17.
- Freundlich, E. 1916: Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie. Mit einem Vorwort von Albert Einstein. [1. Auflage.] Julius Springer, Berlin. 64 S.
- Freundlich, E. 1917: Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie. Mit einem Vorwort von Albert Einstein. 2., erweiterte und verbesserte Auflage. Julius Springer, Berlin. 74 S.

- Freundlich, E. 1920a: Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie. Mit einem Vorwort von Albert Einstein. 3., erweiterte und verbesserte Auflage. Julius Springer, Berlin. 96 S.
- Freundlich, E. 1920b: Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie. Mit einem Vorwort von Albert Einstein. 4., erweiterte und verbesserte Auflage. Julius Springer, Berlin. 96 S.
- Freundlich, E., von Klüber, H., von Brunn, A. 1931: Ergebnisse der Potsdamer Expedition zur Beobachtung der Sonnenfinsternis von 1929, Mai 9, in Takengon (Nordsumatra). 5. Mitteilung. Über die Ablenkung des Lichtes im Schwerefeld der Sonne. Zeitschrift für Astrophysik, Band 3, S. 171.
- Fricke, W. 1960: Nachruf auf August Kopff. Astronomische Nachrichten, Band 285, S. 284.
- Fricke, W., Kopff, A., Gliese, W., Gondolatsch, F., Lederle, T., Nowacki, H., Strobel, W., Stumpff, P. 1963: Fourth Fundamental Catalogue (FK4). Veröffentlichungen des Astronomischen Rechen-Instituts Heidelberg. Nr. 10. G. Braun, Karlsruhe. 144 S.
- Friedmann, A. 1922: Über die Krümmung des Raumes. Zeitschrift für Physik, Band 10, S. 377.
- Friedmann, A. 1924: Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes. Zeitschrift für Physik, Band 21, S. 326.
- Gehrcke, E. 1916: Zur Kritik und Geschichte der neueren Gravitationstheorien. Annalen der Physik, Band 356 (4. Folge, Band 51), S. 119.
- Gerber, P. 1917: Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gravitation. Annalen der Physik, Band 357 (4. Folge, Band 52), S. 415.
- Gerstenkorn, H. 1955: Über Gezeitenreibung beim Zweikörperproblem. Zeitschrift für Astrophysik, Band 36, S. 245.
- Gondolatsch, F. 1962a: Nachruf auf August Kopff. Mitteilungen der Astronomischen Gesellschaft, Nr. 15, S. 5.
- Gondolatsch, F. 1962b: Verzeichnis der Schriften von A. Kopff. Mitteilungen der Astronomischen Gesellschaft, Nr. 15, S. 11.
- Grüning, M. 1990: Ein Haus für Albert Einstein. Erinnerungen, Briefe, Dokumente. Verlag der Nation, Berlin. 583 S.

- Grundmann, S. 2004: Einsteins Akte. Wissenschaft und Politik - Einsteins Berliner Zeit. 2. Auflage. Springer, Berlin u.a. . 658 S.
- Heckmann, O. 1942: Theorien der Kosmologie. Springer, Berlin. 110 S.
- Hentschel, K. 1992: Der Einstein-Turm: Erwin F. Freundlich und die Relativitätstheorie - Ansätze zu einer „dichten Beschreibung“ von institutionellen, biographischen und theoriengeschichtlichen Aspekten. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg u.a. . 192 S.
- Hopmann, J. 1923: Die holländisch-deutsche Sonnenfinsternis-Expedition 1922. Die Himmelswelt, Band 33, S. 31.
- Hopmann, J. 1929: Die experimentelle Prüfung der allgemeinen Relativitätstheorie. In: Handbuch der Physik, Band 21: Licht und Materie. Redigiert von H. Koenen. Julius Springer, Berlin. S. 683. [*P*, *Sonderdruck*].
- Hubble, E. 1936: The Realm of the Nebulae. Clarendon Press, Oxford (Humphrey Milford), London. 210 S. [*P*, *N*].
- Hubble, E. 1937: The Observational Approach to Cosmology. Clarendon Press, Oxford. 68 S. [*P*, *N*].
- Janssen, M. 2005: Of pots and holes: Einstein's bumpy road to general relativity. Annalen der Physik, Band 517 (8. Folge, Band 14), Supplement, S. 58.
- Jeffreys, H. 1976: The Earth. Its Origin, History and Physical Constitution. 6. Auflage. Cambridge University Press, Cambridge. 574 S.
- Jordan, P. 1955: Schwerkraft und Weltall. Grundlagen der theoretischen Kosmologie. 2., erweiterte Auflage. Bearbeitet unter Mitwirkung von E. Schücking. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 277 S.
- Kahrstedt, A. 1947: Nachruf auf Johannes Riem. Astronomische Nachrichten, Band 275, S. 96.
- Kaula, W. M. 1968: An Introduction to Planetary Physics. The Terrestrial Planets. John Wiley and Sons, New York u.a. . 490 S.
- Kerr, R. P. 1963: Gravitational Field of a Spinning Mass as an Example of Algebraically Special Metrics. Physical Review Letters, Vol. 11, S. 237.
- Kienle, H. 1924a: Die astronomische Prüfung der allgemeinen Relativitätstheorie. Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, Band 3, S. 55. [*P*, *Sonderdruck*].

- Kienle, H. 1924b: Kosmische Refraktion. *Physikalische Zeitschrift*, 25. Jahrgang, S. 1.
- Kienle, H. 1961: Nachruf auf August Kopff. *Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften*, Jahresheft 1959/60, S. 48.
- Kirsten, C., Treder, H.-J. 1979: Einstein in Berlin 1913-1933. Teil I. Darstellung und Dokumente. Akademie-Verlag, Berlin. 287 S.
- Kirsten, C., Treder, H.-J. u.a. 1979: Einstein in Berlin 1913-1933. Teil II. Spezialinventar. Akademie-Verlag, Berlin. 295 S.
- Kopff, A. 1920a: Die Einsteinsche Relativitätstheorie. Verlag der Leipziger Lehrerzeitung. In Kommission bei Greßner und Schramm, Leipzig. 24 S.
- Kopff, A. 1920b: Rektaszensionsbeobachtungen der Venus bei der unteren Konjunktion 1919. *Astronomische Nachrichten*, Band 211, S. 193.
- Kopff, A. 1921a: Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie. S. Hirzel, Leipzig. 198 S.
- Kopff, A. 1921b: Das Rotationsproblem in der Relativitätstheorie. *Die Naturwissenschaften*, 9. Jahrgang, S. 9.
- Kopff, A. 1921c: Bemerkung zur Rotationsbewegung im Gravitationsfeld der Sterne. *Physikalische Zeitschrift*, 22. Jahrgang, S. 24 und S. 179.
- Kopff, A. 1921d: Über den Einfluß von Sonne und Mond auf das Zentrifugalfeld der Erde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie. *Physikalische Zeitschrift*, 22. Jahrgang, S. 309.
- Kopff, A. 1921e: Zur Frage der Verschiebung der scheinbaren Fixsternörter in Sonnennähe. *Physikalische Zeitschrift*, 22. Jahrgang, S. 495.
- Kopff, A. 1922a: [1. Teil:] Über eine Möglichkeit der Prüfung des speziellen Relativitätsprinzips auf astronomischem Wege. *Physikalische Zeitschrift*, 23. Jahrgang, S. 120. [2. Teil:] Über die astronomische Aberration in der Relativitätstheorie. (Berichtigung [zum 1. Teil]). *Physikalische Zeitschrift*, 23. Jahrgang, S. 255.
- Kopff, A. 1922b: Buchbesprechung: H. Thirring; Die Idee der Relativitätstheorie. *Die Naturwissenschaften*, 10. Jahrgang, S. 185.
- Kopff, A. 1923a: Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie. Zweite, verbesserte Auflage. S. Hirzel, Leipzig. 204 S. [*P*, *N*].

- Kopff, A. 1923b: The Mathematical Theory of Relativity. Translated by H. Levy. Methuen and Co., London. 214 S. Englische Übersetzung von Kopff (1921a).
- Kopff, A. 1923c: I fondamenti della relatività Einsteiniana. Edizione italiana a cura di R. Contu e T. Bembo. Prefazione di G. Armellini. Valore e interpretazione della teoria negli scritti originali di: A. Aliotta, E. Bianchi, ..., E. Fermi, ..., Q. Majorana, ..., H. Weyl. Complementi di G. Castelnuovo e T. Levi-Civita. Ulrico Hoepli, Milano. 456 S. Italienische Übersetzung von Kopff (1921a).
- Kopff, A. 1923d: siehe Anonym 1923: Die Sonnenfinsternis-Expedition nach der Weihnachtsinsel bei Java [*Referat nach Berichten von A. Kopff*]. Sirius, Band 56 (neue Folge: Band 51), S. 67.
- Kopff, A. 1923e: Buchbesprechung: A. S. Eddington; Raum, Zeit und Schwere. Ein Umriß der allgemeinen Relativitätstheorie. Ins Deutsche übertragen von W. Gordon. Die Naturwissenschaften, 11. Jahrgang, S. 826.
- Kopff, A. 1924a: Zur Weiterentwicklung der Weltgeometrie (Relativitätstheorie). In: Probleme der Astronomie. Festschrift für Hugo von Seeliger, dem Forscher und Lehrer zum 75. Geburtstag. Redaktion: H. Kienle. Julius Springer, Berlin. S. 240. [*P, N*].
- Kopff, A. 1924b: Courvoisier-Effekt und Einstein-Effekt. Physikalische Zeitschrift, 25. Jahrgang, S. 95.
- Kopff, A. 1924c: La déviation des rayons lumineux au voisinage du Soleil et la théorie de la relativité. Scientia, Vol. 35, S. 397.
- Kopff, A. 1925: Die Relativitätstheorie in der Schule. Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften, Band 31, S. 27.
- Kopff, A. (Herausgeber) 1928: Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik. 11. Auflage. 5. Band, 2. Hälfte. Physik des Kosmos (einschließlich Relativitätstheorie). Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 596 S. [*P, N*].
- Kopff, A. 1931: Nachruf auf Alfred Wegener. Astronomische Nachrichten, Band 242, S. 263.
- Kopff, A. 1932: Die Ablenkung des Lichtes im Schwerfeld der Sonne. Die Naturwissenschaften, 20. Jahrgang, S. 486.
- Kopff [*im Russischen: Kopf*], A. 1933a: Osnovy teorii otnositel'nosti Eihnshtejna. Perevod s nemetskogo [*Übersetzt aus dem Deutschen*]. Pod redaktsiya V. K. Frederiksa [*Übersetzer: V. K. Frederiks*]. M.-L. GTTI [*Verlag*]. Moskau und Leningrad. 176 S. Russische Übersetzung von Kopff (1923a).

- Kopff, A. 1933b: Nachruf auf Max Wolf. Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft, 68. Jahrgang, S. 9.
- Kopff, A. 1933c: Max Wolf 1863-1932. Eine Gedenkrede. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Jahrgang 1933, 4. Abhandlung. 28 S.
- Kopff, A. 1935: Buchbesprechung: R. C. Tolman; Relativity, Thermodynamics and Cosmology. Die Naturwissenschaften, 23. Jahrgang, S. 323.
- Kopff, A. 1937a: Buchbesprechung: E. Hubble; The Realm of the Nebulae. Deutsche Literaturzeitung, 58. Jahrgang, S. 1066.
- Kopff, A. 1937b: Dritter Fundamentalkatalog des Berliner Astronomischen Jahrbuchs. I. Teil: Die Auwers-Sterne für die Epochen 1925 und 1950. Veröffentlichungen des Astronomischen Rechen-Instituts zu Berlin-Dahlem. Nr. 54. Ferdinand Dümmler, Berlin. 117 S.
- Kopff, A. 1938a: Dritter Fundamentalkatalog des Berliner Astronomischen Jahrbuchs. II. Teil. Die Zusatzsterne für die Epoche 1950. Abhandlungen der Preussischen Akademie der Wissenschaften. Jahrgang 1938. Physikalisch-Mathematische Klasse. Nr. 3. Verlag der Akademie der Wissenschaften, in Kommission bei de Gruyter, Berlin. 35 S.
- Kopff, A. 1938b: Buchbesprechung: E. Hubble; The Observational Approach to Cosmology. Deutsche Literaturzeitung, 59. Jahrgang, S. 500.
- Kopff, A. 1953a: Supplement-Katalog des FK3 (FK3 Supp). In: Astronomisch-Geodätisches Jahrbuch für 1954. G. Braun, Karlsruhe. S. [1].
- Kopff, A. 1953b: Note on the Revision of the FK3 and the Formation of an FK3 Supplement. Astronomical Journal, Vol. 58, p. 207.
- Kopff, A. 1955: Supplement-Katalog des FK3 (FK3 Supp). Genaue Örtter und EB für den Südhimmel. In: Astronomisch-Geodätisches Jahrbuch für 1956. G. Braun, Karlsruhe. S. [1].
- Laue, M. 1911: Das Relativitätsprinzip. [*1. Auflage.*] Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 208 S.
- Laue, M. 1913: Das Relativitätsprinzip. 2., vermehrte Auflage. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 272 S. [*P(ARI), N*].
- Laue, M. von 1919: Das Relativitätsprinzip der Lorentztransformation. 3., vermehrte Auflage. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 292 S.

- Laue, M. von 1920: Theoretisches über neuere optische Beobachtungen zur Relativitätstheorie. *Physikalische Zeitschrift*, 21. Jahrgang, S. 659. [*P*, *Sonderdruck*].
- Laue, M. von 1921a: Die Relativitätstheorie. 1. Band. Das Relativitätsprinzip der Lorentztransformation. 4., vermehrte Auflage. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 300 S.
- Laue, M. von 1921b: Die Relativitätstheorie. 2. Band. Die allgemeine Relativitätstheorie und Einsteins Lehre von der Schwerkraft. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 276 S. [*P*, *N*].
- Laue, M. von 1923: Die Relativitätstheorie. 2. Band. 2., umgearbeitete Auflage. Die allgemeine Relativitätstheorie und Einsteins Lehre von der Schwerkraft. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 290 S.
- Lemaître, G. 1927: Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques. *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles, Série A, Sciences mathématiques*, Tome 47, S. 49.
- Lenard, P. 1918: Über Relativitätsprinzip, Äther, Gravitation. S. Hirzel, Leipzig. 20 S. [*P*, *N*].
- Lenard, P. 1921: Fragen der Lichtgeschwindigkeit. *Astronomische Nachrichten*, Band 213, S. 303.
- Lense, J. 1918: Über Relativitätseinflüsse in den Mondsystemen. *Astronomische Nachrichten*, Band 208, S. 117.
- Lense, J., Thirring, H. 1918: Über den Einfluß der Eigenrotation der Zentralkörper auf die Bewegung der Planeten und Monde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie. *Physikalische Zeitschrift*, 19. Jahrgang, S. 156.
- Liebscher, D.-E., Brosche, P. 1998: Aberration and Relativity. *Astronomische Nachrichten*, Band 319, S. 309.
- Lorentz, H. A., Einstein, A., Minkowski, H. 1922: Das Relativitätsprinzip. Eine Sammlung von Abhandlungen. Mit einem Beitrag von H. Weyl und Anmerkungen von A. Sommerfeld. 4., vermehrte Auflage. B. G. Teubner, Leipzig und Berlin. 159 S. [*P(ARI)*, *N*].
- Mach, E. 1921: Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Historisch-kritisch dargestellt. 8. Auflage. Mit einem Anhang „Das Verhältnis der Machschen Gedankenwelt zur Relativitätstheorie“ von J. Petzoldt. F. A. Brockhaus, Leipzig. 521 S. [*P*, *N*].

- Miethe, A., Seegert, B., Weidert, F. 1916: Die totale Sonnenfinsternis vom 21. August 1914, beobachtet in Sandnessjøen auf Alsten (Norwegen). Gemeinsame Expedition der Sternwarte der Königlichen Technischen Hochschule Berlin und der Optischen Anstalt C. P. Goerz A.-G., Friedenau. Mit einem Geländeplan, 63 Abbildungen und 10 Tafeln. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 93 S.
- Neckel, H. 2000: Nachruf auf Alfred Bohrmann. Mitteilungen der Astronomischen Gesellschaft, Nr. 83, S. 5.
- Neffe, J. 2005: Einstein. Eine Biographie. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg. 490 S.
- Neumann, E. R. 1922: Vorlesungen zur Einführung in die Relativitätstheorie. G. Fischer, Jena. 228 S.
- O'Connell, D. J. K. 1964: Obituary for Joan George Erardus Gijsbertus Voûte. Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, Vol. 5, S. 296.
- Oppenheim, S. 1917: Zur Frage nach der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gravitation. Annalen der Physik, Band 358 (4. Folge, Band 53), S. 163.
- Pais, A. 1986: „Raffiniert ist der Herrgott ...“. Albert Einstein; eine wissenschaftliche Biographie. Aus dem Amerikanischen übersetzt von R. U. Sexl. Spektrum Akademischer Verlag, Vieweg, Braunschweig und Wiesbaden. 601 S.
- Pauli, W. 1921: Relativitätstheorie. Mit einem Vorwort von A. Sommerfeld. B. G. Teubner, Leipzig und Berlin. Sonderdruck. S. 539-775.
- Perryman, M. A. C. 2009: Astronomical Applications of Astrometry. Ten Years of Exploitation of the Hipparcos Satellite Data. Cambridge University Press, Cambridge. 670 S.
- Perryman, M. A. C. 2011: The Exoplanet Handbook. Cambridge University Press, Cambridge. 410 S.
- Porträtgalerie der Astronomischen Gesellschaft: siehe unter Charlier und Engström (1904) bzw. Tass (1931)
- Richter, N. 1957: Nachruf auf Leopold Courvoisier. Astronomische Nachrichten, Band 284, S. 47.
- Riemann, B. 1919: Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen. Neu herausgegeben und erläutert von H. Weyl. Julius Springer, Berlin. 47 S. [*P*, *N*].

- Röhle, S. 2002: Mathematische Probleme in der Einstein-de Sitter-Kontroverse. Preprint 210, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin. 120 S.
- Rosenberger, L. 2002: Das Problem der Rotation in der Allgemeinen Relativitätstheorie. Preprint 208, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin. 113 S.
- Ruben, G. 1987: Die Rotation des Kosmos aus der Aberration von Quasaren. *Annalen der Physik*, Band 499 (7. Folge, Band 44), S. 150.
- Ruben, G. 1991: Cosmic Rotation and the Inertial System. In: IAU Colloquium No. 100. *Astrophysics and Space Science*, Vol. 177, S. 465.
- Sadler, D. H. 1963: Obituary for Harold Spencer Jones. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 4, S. 113.
- Sandage, A. 1988: Observational tests of world models. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. Vol. 26, S. 561.
- Schielicke, R. E. 2013: „Wer zählt die Völker, nennt die Namen ...“. Die Astronomische Gesellschaft und ihre Mitglieder 1863 bis 2013. *Astronomische Gesellschaft*, Hamburg. 160 S.
- Schirmacher, A. 2010: Philipp Lenard: Erinnerungen eines Naturforschers: Kritische annotierte Ausgabe des Originaltyposkriptes von 1931/1943. Springer, Heidelberg u.a. . 344 S.
- Schlick, M. 1922: *Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik. Zur Einführung in das Verständnis der Relativitäts- und Gravitationstheorie*. 4. Auflage. Julius Springer, Berlin. 107 S.
- Schönbeck, C. 2000: Albert Einstein und Philipp Lenard. Antipoden in Physik und Zeitgeschichte. *Schriften der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Heidelberger Akademie der Wissenschaften*, Nr. 8. Springer, Berlin u.a. . 42 S.
- Schrödinger, E. 1918a: Die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes. *Physikalische Zeitschrift*, 19. Jahrgang, S. 4.
- Schrödinger, E. 1918b: Über ein Lösungssystem der allgemein kovarianten Gravitationsgleichungen. *Physikalische Zeitschrift*, 19. Jahrgang, S. 20.
- Schwarzschild, K. 1916a: Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der EINSTEINschen Theorie. *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften*, Jahrgang 1916, S. 189.

- Schwarzschild, K. 1916b: Über das Gravitationsfeld einer Kugel aus inkompressibler Flüssigkeit nach der EINSTEINschen Theorie. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1916, S. 424.
- Schwarzschild, K. 1920: Über den Einfluß von Wind und Luftdichte auf die Flugbahn der Geschosse. (Vorgelegt am 18. November 1915.) Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1920, S. 37.
- Seibt, H. 2012: Adolf Miethe (1862-1927). Lebenserinnerungen. Acta Historica Astronomiae, Vol. 46. Harri Deutsch, Frankfurt am Main. 350 S.
- Soldner, J. 1801: Ueber die Ablenkung eines Lichtstrals von seiner geradlinigen Bewegung, durch die Attraktion eines Weltkörpers, an welchem er nahe vorbei geht. In: [Berliner] Astronomisches Jahrbuch für das Jahr 1804, nebst einer Sammlung der neuesten in die astronomischen Wissenschaften einschlagenden Abhandlungen, Beobachtungen und Nachrichten. [29. Jahrgang.] Herausgeber: J. E. Bode. Privatverlag von Bode und in Commission bey G. A. Lange, Berlin. S. 161.
- Tass, A. 1931: Porträtgalerie der Astronomischen Gesellschaft. Königliche Ungarische Universitätsdruckerei, Budapest. 85 S.
- Thirring, H. 1918: Über die Wirkung rotierender ferner Massen in der Einsteinschen Gravitationstheorie. Physikalische Zeitschrift, 19. Jahrgang, S. 33.
- Thirring, H. 1921: Die Idee der Relativitätstheorie. [1. Auflage.] Julius Springer, Berlin. 170 S.
- Thirring, H. 1922a: Die Idee der Relativitätstheorie. 2., durchgesehene und verbesserte Auflage. Julius Springer, Berlin. 172 S.
- Thirring, H. 1922b: Relativitätstheorie. Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, Band 1, S. 26.
- Thirring, H. 1948: Die Idee der Relativitätstheorie. Gemeinverständlich dargestellt. 3., durchgesehene und ergänzte Auflage. Springer, Wien. 167 S.
- Tolman, R. C. 1934: Relativity, Thermodynamics and Cosmology. Clarendon Press, Oxford. 501 S.
- Tomaschek, R. 1923: Über den Michelsonversuch mit Fixsternlicht. Astronomische Nachrichten, Band 219, S. 301.
- Tomaschek, R. 1924: Über das Verhalten des Lichtes außerirdischer Lichtquellen. Annalen der Physik, Band 378 (4. Folge, Band 73), S. 105.

- Treder, H. J., Jackisch, G. 1981: On Soldner's Value of Newtonian Deflection of Light. *Astronomische Nachrichten*, Band 302, S. 275.
- Treder, H. J. 1985: Aberrations-Konstante und Rotation des Kosmos. *Annalen der Physik*, Band 497 (7. Folge, Band 42), S. 71.
- Trumpler, R. 1928: Final Results on the Light Deflections in the Sun's Gravitational Field from Observations Made at the Total Solar Eclipse of September 21, 1922. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. 40, S. 130.
- van Dongen, J. 2007: Emil Rupp, Albert Einstein and the Canal Ray Experiments on Wave-Particle Duality: Scientific Fraud and Theoretical Bias. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, Vol. 37, Supplement, S. 73.
- Vizgin, V., Frenkel, V. 2002: Vsevolod Frederiks, Pioneer of Relativism and Liquid Crystal Physics. In: *Einstein Studies in Russia*. Herausgeber: Y. Balashov, V. Vizgin. Birkhäuser, Boston u.a. . S. 149.
- von Klüber, H. 1965: Nachruf auf Erwin Finlay-Freundlich. *Astronomische Nachrichten*, Band 288, S. 281.
- von Laue, M. : siehe Laue, M. und Laue, M. von.
- von Seeliger, H. 1917a: Bemerkung zu P. Gerbers Aufsatz: „Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gravitation“. *Annalen der Physik*, Band 358 (4. Folge, Band 53), S. 31.
- von Seeliger, H. 1917b: Weitere Bemerkungen zur „Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gravitation“. *Annalen der Physik*, Band 359 (4. Folge, Band 54), S. 38.
- Wazeck, M. 2009: Einsteins Gegner: die öffentliche Kontroverse um die Relativitätstheorie in den 1920er Jahren. Campus-Verlag, Frankfurt am Main. 429 S.
- Weyl, H. 1918: *Raum, Zeit, Materie*. Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie. Julius Springer, Berlin. 234 S. [*P*, *N*].
- Wiechert, E. 1916a: Perihelbewegung des Merkur und die allgemeine Mechanik. *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse*, aus dem Jahre 1916, S. 124.
- Wiechert, E. 1916b: Perihelbewegung des Merkur und die allgemeine Mechanik. *Physikalische Zeitschrift*, 17. Jahrgang, S. 442.

- Wielen, R. 1962: Zeitliche Leuchtkraftänderungen von Galaxien und ihre kosmologische Bedeutung. Diplomarbeit, Freie Universität Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Institut für Theoretische Physik. 80 S.
- Wielen, R. 1964: Zeitliche Helligkeitsänderungen von elliptischen Galaxien. Zeitschrift für Astrophysik, Band 59, S. 129.
- Wielen, R. 2001: The 300th Anniversary of the Calendar Edict and the History of the Astronomisches Rechen-Institut. In: Dynamics of Star Clusters and the Milky Way. Proceedings of the International Spring Meeting of the Astronomische Gesellschaft to celebrate the 300th anniversary of the „Calendar Edict“, foundation document of the Astronomisches Rechen-Institut, held in Heidelberg, Germany 20-24 March 2000. ASP Conference Series. Vol. 228. Herausgeber: S. Deiters, B. Fuchs, R. Spurzem, A. Just und R. Wielen. Astronomical Society of the Pacific, San Francisco. S. 3.
- Wielen, R. 2004: Nachruf auf Friedrich Gondolatsch. Mitteilungen der Astronomischen Gesellschaft, Nr. 87, S. 5.
- Wielen, R., Wielen, U. 2010a: Johann Elert Bodes Geschichte der Berliner Sternwarte bis zum Jahr 1811. Edition der Handschrift. HeiDOK. 86 S.  
 URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/11523>  
 URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-opus-115237>  
*Diese Arbeit wurde elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform HeiDOK der Universität Heidelberg, die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird: HeiDOK - Der Heidelberger Dokumentenserver. Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de> . Siehe auch Seite 2.*
- Wielen, R., Wielen, U. 2010b: Supplement zu Johann Elert Bodes Geschichte der Berliner Sternwarte bis zum Jahr 1811. Scans der Handschrift und zugehöriger Dokumente. HeiDOK. 59 S.  
 URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/11525>  
 URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-opus-115254>  
*Diese Arbeit wurde elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform HeiDOK der Universität Heidelberg, die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird: HeiDOK - Der Heidelberger Dokumentenserver. Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de> . Siehe auch Seite 2.*
- Wielen, R., Wielen, U. 2011a: Die Archivalien des Astronomischen Rechen-Instituts zum Kalender in Preußen. Edition der Dokumente. HeiDOK. 228 S.  
 URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/12473>  
 URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-opus-124737>

- Diese Arbeit wurde elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform HeiDOK der Universität Heidelberg, die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird: HeiDOK - Der Heidelberger Dokumentenserver. Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de> . Siehe auch Seite 2.*
- Wielen, R., Wielen, U. 2011b: Supplement zu den Archivalien des Astronomischen Rechen-Instituts zum Kalender in Preußen. Scans der Dokumente. HeiDOK. 101 S.  
 URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/12474>  
 URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-opus-124741>  
*Diese Arbeit wurde elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform HeiDOK der Universität Heidelberg, die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird: HeiDOK - Der Heidelberger Dokumentenserver. Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de> . Siehe auch Seite 2.*
- Wielen, R., Wielen, U. 2011c: Die Reglements und Statuten des Astronomischen Rechen-Instituts und zugehörige Schriftstücke im Archiv des Instituts. Edition der Dokumente. HeiDOK. 319 S.  
 URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/13066>  
 URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-opus-130665>  
*Diese Arbeit wurde elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform HeiDOK der Universität Heidelberg, die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird: HeiDOK - Der Heidelberger Dokumentenserver. Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de> . Siehe auch Seite 2.*
- Wielen, R., Wielen, U. 2011d: Supplement zu den Reglements und Statuten des Astronomischen Rechen-Instituts und zugehörigen Schriftstücken im Archiv des Instituts. Scans der Dokumente. HeiDOK. 89 S.  
 URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/13090>  
 URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-opus-130909>  
*Diese Arbeit wurde elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform HeiDOK der Universität Heidelberg, die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird: HeiDOK - Der Heidelberger Dokumentenserver. Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de> . Siehe auch Seite 2.*
- Wielen, R., Wielen, U. 2012a: Von Berlin über Sermuth nach Heidelberg. Das Schicksal des Astronomischen Rechen-Instituts in der Zeit von 1924 bis 1954 anhand von Schriftstücken aus dem Archiv des Instituts. HeiDOK. 400 S.  
 URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/14604>  
 URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-heidok-146043>

*Diese Arbeit wurde elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform HeiDOK der Universität Heidelberg, die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird: HeiDOK - Der Heidelberger Dokumentenserver. Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link:  
<http://archiv.ub.uni-heidelberg.de> . Siehe auch Seite 2.*

Wielen, R., Wielen, U. 2012b: Supplement zu: Von Berlin über Sermuth nach Heidelberg. Das Schicksal des Astronomischen Rechen-Instituts in der Zeit von 1924 bis 1954 anhand von Schriftstücken aus dem Archiv des Instituts. Scans der Schriftstücke. HeiDOK. 438 S.

URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/14605>

URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:16-heidok-146058>

*Diese Arbeit wurde elektronisch publiziert auf der Open Access-Plattform HeiDOK der Universität Heidelberg, die von der Universitätsbibliothek Heidelberg verwaltet wird: HeiDOK - Der Heidelberger Dokumentenserver. Der Internet-Zugang zu HeiDOK erfolgt über den Link:  
<http://archiv.ub.uni-heidelberg.de> . Siehe auch Seite 2.*

Wielen, R., Wielen, U. (in Vorbereitung): Astronomische Ephemeriden, Navigation und Krieg. Die erstaunliche Zusammenarbeit der Ephemeriden-Institute von Deutschland, England, Frankreich und den USA im Zweiten Weltkrieg nach Dokumenten im Archiv des Astronomischen Rechen-Instituts. HeiDOK.

Wolf, M. 1920: Zur Erklärung des Einstein-Effektes auf den Finsternisbildern. Astronomische Nachrichten, Band 212, S. 181.

Hinweis:

Unsere Arbeiten (Wielen, R., Wielen, U.) erhalten an den Jahreszahlen (2010, 2011, 2012) jeweils einen Buchstabenzusatz (a, b, ...). Dieser Buchstabenzusatz erfolgt auch dann, wenn nicht alle Arbeiten im Literaturverzeichnis aufgeführt werden. Der Buchstabenzusatz soll der besseren und eindeutigen Identifizierung unserer verschiedenen Arbeiten dienen, insbesondere beim Zitieren im laufenden Text.

## 10 Danksagungen

Frau Dr. Barbara Wolff, Einstein Information Officer der Albert Einstein Archives der Hebrew University in Jerusalem danken wir für die Genehmigung, die Briefe Einsteins wiederzugeben. Von einigen Schriftstücken aus den Albert Einstein Archives hat sie uns Kopien zugänglich gemacht und der Veröffentlichung dieser Texte zugestimmt. Wir danken ihr auch für ihre Hinweise zu den Beziehungen zwischen Einstein und Kopff und für die freundliche Beantwortung unserer Fragen.

Frau Paula Kopff (Heidelberg), der Witwe des Sohnes Otto Kopff, danken wir für sehr aufschlußreiche Gespräche. Trotz ihres hohen Alters war sie immer bereit, auf unsere Fragen einzugehen. Wir haben von ihr viel gelernt, denn sie kannte die Familie Kopff bereits in deren Berliner Zeit.

Der Universitätsbibliothek Leiden danken wir für die Ausleihe der italienischen Ausgabe von Kopffs Buch (Kopff 1923c). In den Katalogen deutscher Bibliotheken ist dieses Werk nicht nachgewiesen.

Frau Diplom-Bibliothekarin Anke Vollersen, Leiterin der Bibliothek der Hamburger Sternwarte, danken wir für ihre Hilfe bei der Beschaffung von wichtiger Literatur. Sie hat uns auch die Vorlagen für die Figuren 51 bis 55 als Scans übermittelt.

Frau Chihiro Kodama-Lambert B.A., Leiterin der Bibliothek des Instituts für Japanologie der Universität Heidelberg, danken wir für ihre Suche nach einer japanischen Übersetzung des Buches von Kopff (siehe Kapitel 4.4.6). Wir danken ihr ferner für ihren Hinweis auf eine russische Übersetzung des Buches (siehe Kapitel 4.4.5).

Frau Dr. Nina V. Kharchenko (Kiew) und Herrn Dr. Anatolij E. Piskunov (Moskau), die sich als Gastwissenschaftler am Astronomischen Rechen-Institut aufgehalten haben, danken wir für ihre Hilfe beim bibliographischen Nachweis der russischen Übersetzung des Buches von Kopff (siehe Kapitel 4.4.5).

Frau Dipl.-Math. Inge Heinrich (Worms) und Herrn Dr. Helmut Lenhardt (Heidelberg) danken wir für ihre Durchsicht unseres Manuskripts und für hilfreiche Bemerkungen.

Für wertvolle Hinweise, Kommentare und sonstige Hilfe danken wir Frau Dipl.-Phys. Regina von Berlepsch (Potsdam), Herrn Prof. Dr. Peter Brosche (Schalkenmehren), Herrn Dr. Wolfgang Dick (Potsdam), Herrn Dr. Herbert Hefele (Heidelberg), Herrn Prof. Dr. Wolfgang Mattig (Waldkirch), Frau Dr. Anna Pasquali (Heidelberg), Herrn Dr. Matthias Schemmel (Berlin), Herrn Dr. Robert Schmidt (Heidelberg) und Herrn Prof. Dr. Joachim Schubart (Heidelberg).

## 11 Über die Autoren

Prof. Dr. Roland Wielen wurde 1938 in Berlin-Lichterfelde-West geboren. Nach Tätigkeiten in Berlin, Heidelberg, Nizza und Hamburg war er von 1978 bis 1985 ordentlicher Professor für Astronomie und Astrophysik der Technischen Universität Berlin. Er war seit 1979 auch für die Lehre in Astronomie an der Freien Universität Berlin zuständig. 1985 nahm er den Ruf auf das Ordinariat für Theoretische Astronomie an der Universität Heidelberg an und wurde zugleich Direktor des Astronomischen Rechen-Instituts in Heidelberg. Seit 2004 ist er emeritiert. Weitere biographische Angaben über ihn findet man im Heidelberger Gelehrtenlexikon (Drüll, 2009, S. 669-670). Mit der Allgemeinen Relativitätstheorie hat er sich bereits als Student intensiv beschäftigt, weil seine Diplomarbeit (Wielen 1962) ein Thema aus der Kosmologie betraf. Ein Auszug aus der Diplomarbeit ist in der Zeitschrift für Astrophysik erschienen (Wielen 1964). Als erstes Lehrbuch der Allgemeinen Relativitätstheorie diente ihm das Werk von Pascual Jordan (1955).

Ute Wielen geb. Bachmann ist auch in Berlin-Lichterfelde-West geboren. Sie hat bis 1959 als Beobachtungsassistentin an der Sternwarte Babelsberg bei Berlin gearbeitet, die in der Nachfolge der Berliner Sternwarte steht. Später war sie als Programmiererin am Institut für Theoretische Physik der Freien Universität Berlin im Bereich Astronomie und am Institut für Theoretische Astrophysik der Universität Heidelberg tätig. Ihren Ehemann Roland Wielen hat sie über fünfzig Jahre lang bei seinen astronomischen Forschungen stets intensiv unterstützt. Das Ehepaar lebt jetzt in der Nähe von Heidelberg in Eberbach am Neckar.

Einen eher seltenen Einblick in Einsteins Berliner Leben konnten die beiden Autoren dadurch gewinnen, daß sie im Jahre 1984 für einige Tage auf Einladung des Einstein-Laboratoriums für Theoretische Physik der Akademie der Wissenschaften in Albert Einsteins Sommerhaus in Caputh (südwestlich von Berlin) gewohnt haben. Das Haus und seine Entstehungsgeschichte ist z.B. im Buch von Grüning (1990) beschrieben. Einen Eindruck von Einsteins späterem Leben in Princeton haben die Autoren erhalten, als sie sich 1984 zwei Wochen lang am Institute for Advanced Study aufhielten.