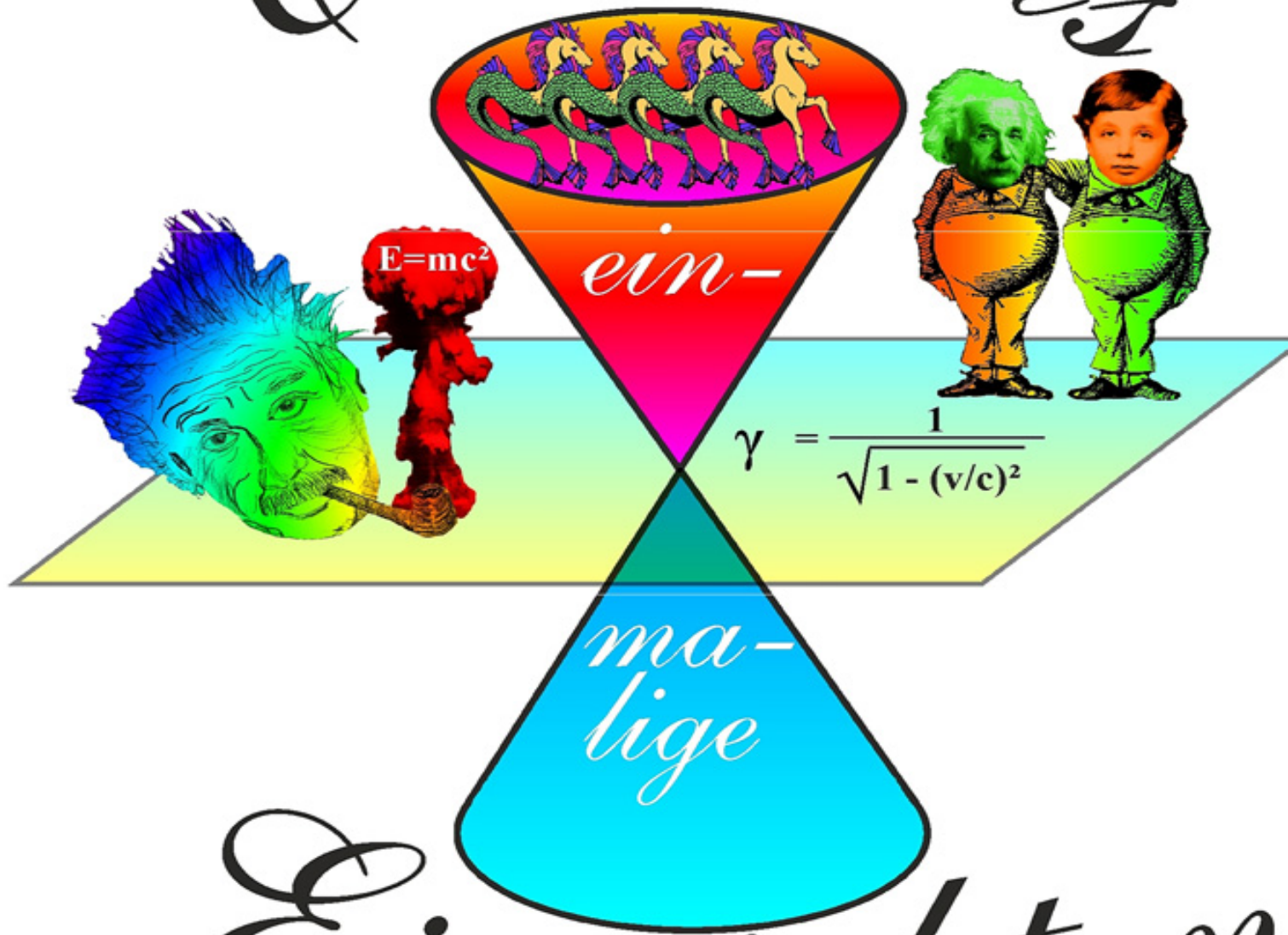


Peter Ripota präsentiert:

Einstein



Einsichten

Die Relativitätstheorien
und wie es dazu kam

Motto:

"Es ist egal, ob der Zug in den Bahnhof einfährt oder der Bahnsteig unter dem Zug weggezogen wird." (Albert Einstein)



Teil 1 dieser Abhandlung behandelt die Entstehung, Bedeutung und Wirkung der **Speziellen Relativitätstheorie** (SRT) sowie ihrer zahlreichen Effekte und Widersprüche. Außerdem werden einige typisch relativistische Effekte klassisch abgeleitet, ohne Rückgriff auf die sogenannte "Lorentztransformation". Zudem gibt es einen Blick hinter die Kulissen des Wissenschaftsbetriebs sowie eine Analyse des Charakters ihres Schöpfers, ernsthaft und witzig. Mit zahlreichen Abbildungen zum besseren Verständnis.



Peter Ripota

*studierte
Physik und
Mathematik
an der
Technischen
Hochschule
Wien. Als
langjähriger
Mitarbeiter des
P.M.-Magazins
popularisierte
er die ver-
schiedensten
Themen,
vor allem
aus Physik,
Mathematik
und Astronomie.*

Inhalt

Vorwort-1 (Peter Marquardt)

Vorwort-2 (Peter Ripota)

Wie ich zum Skeptiker wurde

Mythen der Relativitätstheorien

Wie alles begann

Wie synchronisiert man Uhren?

Wie ändern sich die Maxwell-Gleichungen?

Wie relativ sind Geschwindigkeiten?

Wie sieht der Äther aus?

Wie alles endete: Alle Probleme beseitigt

Wie eine Theorie entsteht

Wissenschaft und Religion

Schein oder Sein?

Wahr oder falsch?

Was ist Wissenschaft?

Zitate: Wissenschaft und Wahrheit

Wer höflich fragt, wird platt gemacht

Wie misst man Geschwindigkeiten?

Der Doppler-Effekt

Der Doppler-Effekt, anschaulich erklärt

Die Aberration des Sternenlichts

Die Aberration des Sternenlichts anschaulich

Die Einstein-Minkowski-Welt

Minkowskiwelt und Lichtkegel

Die Grundlagen der Speziellen Relativitätstheorie

*Die Grundformeln der Speziellen
Relativitätstheorie*

Die Postulate der Speziellen Relativitätstheorie

*Die relative Ermordung des Alfred G. (ein
Märchen)*

Der Heiland und sein Prophet

Eddington, der Verkünder

Eddingtons Horoskop

Einstein, der Erlöser

Einsteins Horoskop

Warum Widersprüche tödlich sind

Der Widersprüche Erster Teil: Lorentzkontraktion

A. Das Gartenzaun-Paradoxon

Das Gartenzaun-Paradoxon bildlich

*Die seltsamen Vorfälle in der Bar zum
Krummen Aasgeier (ein Märchen)*

B. *Einsteins Panzer: Menschliches zum Krieg*

C. Die Ehrenfestsche Scheibe

D. Ringe im All

Ringe im All: so sieht's aus

E. Das Bellsche Raumschiff-Paradoxon

Was bedeutet die Lorentzkontraktion?

Was Experten sagen

Der Fluch der Größe (ein Märchen)

Der Widersprüche Zweiter Teil: Zeit-Dilatation

Das Zwillings-Paradoxon

Das Zwillings-Paradoxon, grafisch

Wie das Zwillings-Paradoxon aufgelöst wird

Eine Formel macht Furore: $E = mc^2$

$E=mc^2$ grafisch

Was ist Masse?

Die Lorentzkraft

*Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse:
Ableitung*

Beobachtungen und Versuche

Fizeau

Versuche zum Äther

Michelson & Morley

Sagnac

Sagnac- Versuch, grafisch

Dayton Miller

Die Extinktionshypothese

Zwischenruf: Eddingtons Sterne

Versuche zur Zeitdehnung

Ives & Stillwell

Rossi & Hall

Myonenzerfall: so sieht's aus

Hafele & Keating

Uhren um die Erde: So sah's aus

Suarez & Scarani

Zusammenfassung

Synchronisierung und Gleichzeitigkeit

Das Globales Positionsbestimmungssystem (GPS)

Relativistische Thermodynamik

Mein Kaffee ist kalt

Einstein, der Mensch

Macho?

Autist?

Plagiator?

Ein Fall für den Psychiater?

Einstein als Mythos

Einstein als Erlöser

Einstein & Monroe

Literatur

Weitere Bücher des Verfassers

Vorwort 1

Mit der Frage nach der berühmtesten Formel und dem berühmtesten Wissenschaftler der Welt sind bereits die Antworten in den Köpfen vieler Wissenschaftler und beeindruckter Laien programmiert. Beides finden wir auf dem Titelblatt dieses abwechslungsreichen Buches.

Ein weiteres Buch zum Thema Relativitätstheorien? Jawohl, und das zu Recht. Die überbordende Literatur der „Orthodoxen“ verlangt nach einem Gegengewicht zu dem einzigartigen Kult um Person und Theorie, der in der Öffentlichkeit betrieben wird. Mit Ripota meldet sich eine erfrischende Stimme mit einem ungewohnten Blick hinter die Kulissen des offiziellen Wissenschaftsbetriebes – und unter den Teppich, unter den so Vieles gekehrt worden ist (historisch, wissenschaftlich und wissenschaftshistorisch).

Im Sinne des Autors, den eine treue Leserschaft von seinen Notizen aus dem schwarzen Loch kennt, ist das Buch unterhaltsam und ironisch. Dies ist eine adäquate Antwort auf die grotesken Aufführungen im offiziellen Wissenschaftsbetrieb, besonders wenn es um die spezielle Relativitätstheorie (SRT) geht. Das offizielle Bild, welches dem Laien nach außen vermittelt wird, sollte nicht darüber hinwegtäuschen, dass es hinter den Kulissen recht uneinheitlich zugeht. Ripota dokumentiert eindrucksvoll das Ringen um Interpretationen aus dem Fundus der Relativisten verschiedener Ausrichtungen.

Die Leserschaft wird vertraut gemacht mit der reichhaltigen Palette von Akteuren und mit deren Argumenten rund um SRT und Einstein-Kult und erfährt dabei viel gemeinhin

Unbekanntes und auch Amüsantes. Wo Kritik droht, ist schnell ein Dogma zur Hand oder der Vorhang des Personenkultes wird zugezogen. Die auffälligen Parallelen zur Religion verwundern nicht. Im November 2019 dürfen wir wieder eine Hundertjahrfeier erwarten, dieses Mal zur „Kanonisierung“ Einsteins anlässlich der Lichtablenkung bei der berühmten Sonnenfinsternis, Die SRT hat sich mit ihren bekannten und weniger bekannten Widersprüchen in selbst verschuldete Schwierigkeiten manövriert, die ihren Anhängern bisweilen recht emotionale Verteidigungsstrategien gegen Kritik abverlangen. Respektvolles Streiten sieht anders aus. Man bekommt den Eindruck, die SRT ist ihr eigenes Ärgernis. Sie sollte es auch in den Augen des unschuldigen zum Staunen verurteilten Publikums sein. Besonders für die außen Stehenden ist es von Vorteil, dass Ripota auch die Seite der Mahner, Kritiker und Dissidenten gehörig zu Wort kommen lässt.

Naturwissenschaft hat den wertvollen Vorteil, falsifizierbar zu sein. Dies ist etwas, das die Verfechter einer dogmatisch gehandhabten Theorie gar nicht mögen, zumal Falsifizierbarkeit im Falle der SRT besonders leicht fällt, wie der Autor zeigt.

Den Schlüsselsatz finden wir auf Seite → des Buches in Form der wohlthuenden Aufforderung *„Bleiben Sie skeptisch, auch gegenüber dem, was Sie in diesem Buch lesen. Überprüfen Sie die Quellen, überlegen Sie, warum etwas gerade jetzt publiziert oder in den Medien breit getreten wird.“* Diese Einladung, auch das Vorliegende skeptisch zu lesen und dabei inne zu halten, vermisst man schmerzlich in den gängigen Lehrbüchern und Vorlesungen. Gibt es im Sinne Karl Raimund Poppers eine bessere Aufforderung zum eigenen kritischen Hinterfragen, das sich nicht abschrecken lässt von dem unverschämten „das verstehen Sie nicht“? Niemand schreibt oder lehrt ohne Fehler.

Werden wir nicht beständig angehalten, unser eigenes unabhängiges Denken zu pflegen? Hier ist eine willkommene Möglichkeit dazu - draußen vor den Elfenbeintürmen der allzu selbstbewussten Karrierewissenschaftler.

Peter Marquardt, Physiker & Buchautor, Köln

Vorwort-2

Es fällt uns schwer, uns ein Leben ohne spezielle Relativitätstheorie vorzustellen. Clifford Will
("...und Einstein hatte doch recht", Springer 1989)

Ein Leben ohne Möpse ist möglich, aber sinnlos.
Loriot 2005

Noch ein Buch über die Relativitätstheorien, wo es doch schon so viele gibt, verständliche und hochgestochene? Noch ein Buch gegen die Relativitätstheorien, wo es doch schon so viele gibt, solche mit wenigen Formeln und solche mit vielen? Nochmal die alten "Paradoxien" aufwärmen, die vor hundert Jahren erkannt und damals schon - angeblich - zur Zufriedenheit aller gelöst wurden?

Einsteins Ideen sind aktueller denn je. Vor kurzem erst gab es einen Nobelpreis für die Entdeckung von Gravitationswellen, die direkt aus Einsteins Formeln folgen. Und niemand macht sich so genau Gedanken darüber, was dahinter steckt, ob die zugrunde liegende Mathematik solide ist und die Messergebnisse korrekt. Niemand? Doch: Ein kleines Häuflein unerschrockener Ungläubiger trotz dem *Imperium Scientificum* und seinen Generälen und Kaisern. Mit wenig Erfolg, aber das soll kein Hinderungsgrund sein, der Wahrheit auf den Grund zu gehen.

Jedenfalls versuche ich in diesem Buch, erst mal die spezielle Relativitätstheorie (SRT) so verständlich wie möglich darzulegen, mit allen technischen, mathematischen, historischen und psychologischen Voraussetzungen. Und natürlich werde ich auf die

zahlreichen Ungereimtheiten eingehen, die sich aus den Theorien automatisch ergeben. Heutzutage wird bei irgendeinem Experiment oder irgendeiner Beobachtung, die der Untermauerung der Einsteinschen Thesen dient, sofort gesagt: *Wieder einmal bewiesen, das Jahrhundert-Genie hatte recht, wie immer.* Solche Experimente und Beobachtungen werde ich mir genauer ansehen. Natürlich habe ich das nicht allein gemacht; klügere und vor allem mathematisch versiertere Geister haben die Vorarbeiten geleistet, deren Erkenntnisse ich, hoffentlich, verständlich weitergebe.

Ob Sie Befürworter oder Gegner der Einsteinschen Ideen sind, Gläubiger oder Skeptiker - Sie werden in diesem Buch garantiert Dinge erfahren, die Sie nicht wussten. Und wenn es nur die Geschichte der Verehrung ist, die diesem stillen Gelehrten heute noch zuteil wird, auch wenn er sie - nach eigenen Worten - nicht immer verdient hat.

Die Kapitel sind relativ unabhängig voneinander, deswegen gibt es manchmal Wiederholungen. Eingerahmte Seiten bedeuten Übersichten, Formel-Ableitungen, grafische Darstellungen, Märchen oder Horoskope.

Viel Spaß beim Lesen!

Peter Ripota, Physiker & Buchautor, Viecht bei Landshut



Wie ich zum Skeptiker wurde

Es ist unglaublich, wieviel Geist in der Welt aufgeboten wird, um Dummheiten zu beweisen. Friedrich Hebbel

Im Studium rauschten die Erkenntnisse der Wissenschaftler als Formelmeer am Bewusstsein der Studierenden vorbei. Es gab kaum Interpretationen - sprich: Was bedeutet die Formel eigentlich? - kaum Ruhepausen zur kognitiven Kontemplation - sprich: Hat das alles seine Richtigkeit? Zweifel an den Lehren der Erhabenen gab es nie, Diskussionen über alternative Wege zur Wahrheit erst recht nicht. Was in den Lehrbüchern steht, das steht, so wie die moralischen Grundsätze einer Religion in den heiligen Büchern.

Die Physik hat mich schon immer wegen ihrer philosophischen Implikationen fasziniert. Was ist Raum, woher kommt die Zeit, wie funktioniert Kausalität, was ist real? Philosophen reden darum herum, Physiker dagegen machen konkrete Experimente und entwerfen vielschichtige Theorien, die auch noch in der ästhetischen Sprache der Mathematik formuliert sind.

So verließ ich bald die niederen Gefilde der experimentellen Physik, es zog mich mehr zum Schreiben. Bei *Peter Moosleitners interessantem Magazin* (P.M.) fand ich eine geistige Heimat. Zusammen mit dem Herausgeber und Einstein-Verehrer entwickelte ich eine Reihe von Gedankenexperimenten, welche die Grundlagen und Erkenntnisse der Relativitätstheorien für die Leser anschaulich machen sollten. Insbesondere die beiden Grundphänomene der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) hatten

es uns angetan: Längenkontraktion und Zeit-Dilatation. Für die Veranschaulichung der beiden Erscheinungen gab es in der Literatur keine Vorbilder. Also dachten wir uns selbst etwas aus. Doch als das Gedanken-Experiment zur Längenstauchung endlich stand, da rief Herr Moosleitner spontan: Dann ist ja alles Täuschung!

In der Tat. Noch schlimmer wurde die Sache mit der Zeitdehnung und dem sogenannten Zwillings-Paradoxon. Wer von den beiden Zwillingen altert denn jetzt langsamer, und warum? Sie sind doch gleichberechtigt, man kann sie beliebig vertauschen, alle Phänomene der SRT sind relativ (daher ihr Name), der andere erlebt alles genauso wie der eine. Gleichzeitig langsamer werden als der andere geht aber auch nicht. Aber was dann?

Die einzige Erklärung, die ich fand, lag in der hyperbolischen Geometrie der nicht-euklidischen Pseudo-Riemannschen (also flachen) Mannigfaltigkeit der vierdimensionalen Minkowskiwelt. Das aber würde Herrn Moosleitner als Erklärung nicht reichen, mir im übrigen auch nicht. Und die schiefen Geraden synchroner Vorgänge, die auch noch gegeneinander geneigt, teils sogar hyperbolisch gekrümmt (also gar keine Geraden) waren, machten die Sache nicht verständlicher. So stand ich da, der Fachmann, dem es nicht gelang, eine so einfache und grundlegende Erscheinung verständlich zu machen. Zumal die anschaulichen Erklärungen der Fachleute unsinnig waren, was mir damals schon auffiel.

Wie es der Zufall so will (aber bekanntlich gibt es keinen Zufall) besuchten mich zwei "dissidente" Physiker, um mir die Sache zu erklären. Und ihnen gelang es, alle meine Zweifel weg zu pusten. Denn sie hatten recht: Einstein hatte sich was ausgedacht, was mit der Wirklichkeit wenig zu tun hat. Oder was zumindest so voller Widersprüche ist, dass

man seine Thesen vergessen kann, denn sie dienen nur dazu, alles beweisen zu können, was gerade "kommodiert" (österreichischer Ausdruck für: gefällt).

Doch diese Widersprüche darzulegen und verständlich zu machen ist gar nicht so leicht. Allzu schnell verliert sich der bemühte Kritiker in einem Wust an Formeln, die zwar leicht zu durchschauen, aber in ihrem Zusammenhalt schwer zu begreifen sind. So brauchte es noch viel eigene literarische Forschungsarbeit und den Rat so mancher anderer Kritiker, bis etwas herauskam, was halbwegs verständlich wird. Zumindest dem Autor, wenn schon nicht dem Leser.

Wenn der Leser indes diese Aussage akzeptiert: Einsteins Thesen enthalten Widersprüche, warum, so fragt sich der einfache Mann (zu dem auch der Autor zählt), warum akzeptierten und akzeptieren alle Laien und Gelehrten Einsteins einmalige Ideen? Gibt es eine Weltverschwörung (in diesem Fall natürlich jüdischer Natur), die alle Kritiker beseitigt? Wartet etwa eine Wissenschafts-Mafia, ungestört durch die Öffentlichkeit, die ungehemmt alternative, in diesem Fall: vernünftige Meinungen unterdrückt? Kurzum: Was steckt dahinter?

PAUL WATZLAWICK, der witzige Philosoph des Unglücklichseins, hat es so ausgedrückt:

"Sobald einmal das Unbehagen eines Desinformationszustands durch eine wenn auch nur beiläufige Erklärung gemildert ist, führt zusätzliche, aber widersprüchliche Information nicht zu Korrekturen, sondern zu weiteren Ausarbeitungen und Verfeinerungen der Erklärung. Damit aber wird die Erklärung »selbst abdichtend«, das heißt, sie wird zu einer Annahme, die nicht falsifiziert werden kann."

Und ERNST GEHRCKE, einer der großen Kritiker jenes Phänomens, das er eine "wissenschaftliche Massensuggestion" nannte, sagte dazu unter anderem:

"Es ist aber keine Kunst, einen Widerspruch dadurch zu vermeiden, dass man implicite den Grundsatz einführt: es bezieht sich die eine Aussage, die einer zweiten Aussage widerspricht, auf eine ganz andere Welt als die zweite. Die Sonderbarkeiten der Relativitätstheorie, ihre angebliche Reform der Erkenntnistheorie mündet immer wieder in den oben gekennzeichneten Standpunkt aus, den man physikalischen Solipsismus nennen kann. Dieser Standpunkt ist der eines Menschen, welcher in die äußerste Enge getrieben ist, der seine Sache bis aufs letzte verfährt, und schließlich, um sich zu retten, die Erklärung abgibt; ich habe recht, denn Du hast auch recht, weil wir beide verschiedenen Welten angehören und deshalb unsere Aussagen gar nicht miteinander vergleichen können!"

So gesehen kommt die Geschichte der Relativitätstheorien und ihrer Rezeption (durch alle damals fortschrittlichen Physiker) bzw. Ablehnung (durch Faschisten und Kommunisten) nicht ohne Soziologie, Psychologie und Kulturgeschichte aus. Hier hat mir das Buch von Karl von Meyenn über "Quantenmechanik und Weimarer Republik" (1994) die Augen geöffnet: Wissenschaft ist eben nicht nur die Quelle der reinen Wahrheit; sie ist, wie alle anderen geistigen, sozialen und emotionalen Strömungen, extrem vom Zeitgeist abhängig und von ihm beeinflusst. Wir müssen vorsichtig sein in Bezug auf Kritiker und Befürworter, auf jedem Gebiet. Nur weil die Nazis Naturheilverfahren förderten und Homöopathie propagierten, heißt das noch lange nicht, dass diese Methoden schlecht sind. Nur weil Universitätsprofessoren oder gar Nobelpreisträger behaupten, das Universum bestehe zum Großteil aus dunkler Materie und dunkler

Energie, heißt das noch lange nicht, dass es so ist. Die Welt ist nie so einfach, wie sie Physiker gerne hätten, die Politik nie so schwarz und weiß, wie das gemeine Volk bisweilen glaubt.

Vor allem aber: Es ist ein tief verwurzeltes Bedürfnis aller Menschen, also auch der Wissenschaftler, Mythen zu konstruieren und Helden aufzubauen. Und da kam Einstein gerade zur rechten Zeit: Niemand entsprach in so idealer Form dem Mythos vom stillen, bescheidenen, etwas skurrilen, aber genialen Gelehrten. So genial, dass keiner seine Ideen verstehen kann. Oder soll.

Welche Gefahren einer solchen Heldenverehrung für Wissenschaftler und ihre Tätigkeit ausgehen, hat vor einiger Zeit der SPIEGEL in einer Kurznachricht offenbart. Da ging es zwar um die Max-Planck-Institute, doch was dort geschieht, gilt auch für alle Forschungen zu Einsteins Ideen. Die Überschrift des Beitrags vom 21.7.2018 lautet: "Wie ein überkommener Geniekult das Mobbing an Max-Planck-Instituten befördern kann". Und dann heißt es unter anderem: "*... wie sollte das persönliche "Coaching" einer Direktorin ein institutionelles Problem lösen? Hinter dieser abwegigen Vorstellung steckt **der alte Geniekult der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft**, aus der die MPG nach dem Zweiten Weltkrieg hervorgegangen ist: Jeder Forschungsbereich ist um einen Superwissenschaftler herum angelegt.*"

Deswegen gehe ich konform mit Paul Feyerabends Maxime:

"Je populärer eine Idee, desto weniger denkt man über sie nach und desto wichtiger wird es also, ihre Grenzen zu untersuchen." Denn: *"Wie die Dinge liegen, werden nicht allein wissenschaftliche, sondern auch politische und andere*

Gesichtspunkte in die Debatte hineingetragen." (Ernst Gehrcke)

Das wird in diesem Buch geschehen.



Mythen der Relativitätstheorien

Die Physiker sind jetzt mit den Metaphysikern darüber einmütig, dass wir in einer Welt der Täuschung leben: glücklich, dass man nicht mehr nötig hat, darüber mit einem Gotte abzurechnen, über dessen Wahrhaftigkeit man zu seltsamen Gedanken kommen könnte. Friedrich Nietzsche

Zu Einsteins Thesen kursieren einige Mythen, als da sind:

Mythos 1: Es gibt eine Relativitätstheorie.

Falsch: Es gibt deren zwei, die Spezielle Relativitätstheorie (SRT, 1905), die wir in diesem Buch besprechen, und die Allgemeine Relativitätstheorie (ART, 1915). Die beiden haben nichts, aber auch gar nichts gemeinsam, und in wesentlichen Punkten widersprechen sie einander. Darauf werden wir bei der Besprechung der ART eingehen.

Mythos 2: Für die Relativitätstheorie gab es einen Nobelpreis.

Falsch. Für die Relativitätstheorien gab es niemals einen Nobelpreis. Das schwedische Nobelpreis-Komitee wurde praktisch gezwungen, Einstein überhaupt einen Nobelpreis zu verleihen, was es höchst widerstrebend tat. Aber nicht für die Relativitätstheorien, sondern für die Erklärung des fotoelektrischen Effekts, 1921, zusammen mit Niels Bohr.

Mythos 3: Alles ist relativ.

Falsch. Erkenntnisse und Postulate der SRT sind ebenso relativ wie absolut. Die SRT geht von einem Absolutheits-Postulat aus: Die Lichtgeschwindigkeit hat für alle

Beobachter stets den gleichen Wert. Daraus ergibt sich dann automatisch die Relativität von Raum und Zeit. Die ART dagegen kennt überhaupt keine Relativität.

Mythos 4: Die Relativitätstheorie sagt eine Zunahme der Masse voraus ("relativistische Massenzunahme").

Kann, muss nicht. Die Massenzunahme kann aus der Formel $E=mc^2$ abgeleitet werden, sie wurde aber schon vorher empirisch gefunden und kann auch anders (nicht-relativistisch) gedeutet werden.

Mythos 5: Die Relativitätstheorien wurden tausendfach experimentell bestätigt.

Falsch. Für die Zeit-Dilatation der SRT gibt es zwei höchst zweifelhafte Experimente, deren Daten auch anders interpretiert werden können. Die Längenkontraktion wurde nie nachgewiesen. Dafür gibt es Experimente, die gewisse Zweifel aufkommen lassen (Suarez).

Die Effekte der ART sind so gering, dass sie bisher nicht nachgewiesen wurden. Oder die Daten wurden gefälscht (Arthur Eddington) oder wohlwollend im Sinne der Theorie ausgewählt (Gravitationswellen).

Mythos 6: Ohne Relativitätstheorien wären Teilchenbeschleuniger und das Globale Positioniersystem (GPS) nicht denkbar.

Falsch. In den Beschleunigeranlagen muss die Massenzunahme der Teilchen berücksichtigt werden, aber die gehört nicht unbedingt zur Relativitätstheorie. Die Daten des GPS werden ständig korrigiert, aber nicht wegen der Relativitätstheorien.

Mythos 7: Eventuelle Paradoxa der SRT wurden zufriedenstellend erklärt bzw. beseitigt.

Falsch. Die Widersprüche (nicht: Paradoxa!) der SRT sind immer noch vorhanden und machen die ganze Theorie unbrauchbar. Dazu gehören das Gartenzaun-Paradoxon, das Ehrenfestsche Paradoxon, die Bellschen Raumschiffe, das Zwillings-Paradoxon, usw.

Mythos 8: Es gibt eine "relativistische Quantenphysik" (Dirac).

Falsch. Dirac verwendete ein Konzept des Mathematikers Minkowski, nämlich, dass Raum und Zeit streng symmetrisch zu behandeln sind, und fand dadurch eine komplizierte Formel, in der Raum und Zeit beide nur *einmal* differenziert werden. Üblicherweise wird in der Quantenphysik nach dem Raum zweimal, nach der Zeit aber nur einmal differenziert (Schrödingergleichung).



Wie alles begann

Der Wissenschaftler studiert die Natur nicht deswegen, weil es ihm nützt; er studiert sie, weil er sich daran erfreut, und er erfreut sich daran, weil sie schön ist. Wäre die Natur nicht schön, wäre sie nicht wert, erforscht zu werden, und das Leben wäre nicht lebenswert. Henri Poincaré

Wie jedes Kind hat auch die Spezielle Relativitätstheorie, im folgenden "SRT" abgekürzt, mindestens zwei Eltern, mehrere Großeltern, und viele andere Vorfahren. In der SRT sind, trotz ihrer einfachen mathematischen Formeln, sehr viele Fakten, Vermutungen, Rätsel und philosophische Ideen der damaligen Zeit zusammengefasst. Im Wesentlichen wurde sie von (mindestens) fünf Problemkreisen gespeist:

- A. **Wie synchronisiert man Uhren?**
- B. **Wie ändern sich die Maxwell-Gleichungen bei Bewegung?**
- C. **Wie relativ sind Geschwindigkeiten?**
- D. **Warum ändert sich die Lichtgeschwindigkeit nicht?**
- E. **Wie sieht der "Äther" aus?**

Für die Wissenschaftsgeschichte, wie sie auch in diesem Buch praktiziert wird, möchte ich noch einmal den frühen Kritiker der Relativitätstheorien, ERNST GEHRCKE, zitieren:

Wir fragen im Folgenden nicht: was ist Relativitätstheorie, sondern: wie hat sie sich entwickelt?

(A) Wie synchronisiert man Uhren?

Eisenbahnen verlangen, sollen sie funktionieren, einen Fahrplan. Dieser wiederum setzt voraus, dass an allen Stationen die gleiche Zeit gemessen und angezeigt wird. Das aber war in Deutschland nicht der Fall. Nicht nur das zivile Eisenbahnwesen litt darunter, dass an den Zwischenbahnhöfen völlig unterschiedliche Zeiten angezeigt wurden. Nein, das deutsche Zeit-Chaos verwies auch auf ein militärisches und mithin existenzielles Problem. Wie kann man den Aufmarsch von Armeen koordinieren, wenn jeder Soldat eine andere Zeit zu Hause oder auf dem Feld angezeigt bekommt? Der greise, hoch angesehene und im Krieg äußerst erfolgreiche General HELMUTH VON MOLTKE (1800-1891) hielt, einen Monat vor seinem Tod, im deutschen Reichstag eine flammende Rede, in welcher er die Abschaffung aller Ortszeiten forderte:

Dass für den inneren Betrieb der Eisenbahnen eine Einheitszeit ganz unentbehrlich ist, ist allgemein anerkannt und wird nicht bestritten. Aber, meine Herren, wir haben in Deutschland fünf verschiedene Einheitszeiten. Wir rechnen in Norddeutschland, einschließlich Sachsen, mit Berliner Zeit, in Bayern mit Münchener, in Württemberg mit Stuttgarter, in Baden mit Karlsruher und in der Rheinpfalz mit Ludwigshafener Zeit. Wir haben also in Deutschland fünf Zonen; und alle die Unzuträglichkeiten und Nachteile, denen wir befürchten an der französischen und russischen Grenze zu begegnen, die haben wir heute im eigenen Vaterlande. Das ist, möchte ich sagen, eine Ruine, die stehen geblieben ist aus der Zeit der deutschen Zersplitterung, die aber, nachdem wir ein Reich geworden sind, billig wegzuschaffen wäre.

Wie es zur Einheits-Zonenzeit in Europa und in den USA kam, schildert der Wissenschaftsautor PETER GALISON ausführlich in seinem Buch "Einsteins Uhren, Poincarés Karten. Die Arbeit an der Ordnung der Zeit.", aus dem wir auch Moltkes Zitat entnommen haben. Nur so viel dazu: Der dafür zuständige Mann in Frankreich war der herausragende Mathematiker und Physiker HENRI POINCARÉ (1854–1912), Begründer der Chaosforschung, der kombinatorischen Topologie, und vieler anderer mathematischer Gebiete. Poincaré machte sich also Gedanken zur *Synchronisation von Uhren*. Dabei ist die Synchronisierung mittels einer Zentraluhr nicht weiter schwierig: Sie sendet elektrische Impulse an die Tochter-Uhren. Die müssen nur die Zeitverzögerung infolge der endlichen Übertragungsgeschwindigkeit der Synchronisierungsimpulse berücksichtigen - in Europa kein Problem, weltweit schon, im Globalen Positionierungssystem (GPS) erst recht, denn da kommt es auf Mikro- und Nanosekunden an.

Schwieriger wird die Angelegenheit bei zwei gleichberechtigten Beobachtern, wobei der eine das Signal des anderen empfängt und an diesen eine Bestätigung schickt. Die Methode funktioniert nur, wenn die Lichtgeschwindigkeit in beiden Richtungen die gleiche ist - eine Voraussetzung, die keineswegs erfüllt sein muss und vor allem mit diesem Verfahren nicht überprüft werden kann. Denn schon Poincaré stellte fest:

Die beiden Beobachter haben kein Mittel, um die Ungleichmäßigkeit des Gangs ihrer Uhren zu erkennen.

Und er kommt zu dem Schluss: Uhren zu synchronisieren ist eine Sache der *Konvention*. Es gibt keine eindeutige Methode, die alle Problemfälle abdeckt. Weil wir uns in diesem Buch mit der Uhrensynchronisierung innerhalb der SRT nicht weiter beschäftigen wollen - die SRT bietet

genügend andere Gedankenfallen - zeigen wir hier eine Schwierigkeit im GPS. Die Zeitverzögerung ist leicht zu berechnen nach der Formel $v = s/t$, also: Geschwindigkeit (v) = Weg (s), geteilt durch die Zeit (t). Also ist $t = s/v$.

Wenn wir die Entfernung zweier Uhren (s) und die Geschwindigkeit der Signalübertragung (v) kennen, dann können wir die Zeitverzögerung (t) berechnen und von der Eigenzeit abziehen.

Dummerweise ändern sich beim GPS diese Angaben dauernd. Die Entfernung der Satelliten von der Erdoberfläche schwankt, denn ihre Bahn ist (a) kein Kreis, sondern eine Ellipse, und (b) hängt die Entfernung auch vom überflogenen Schwerefeld der Erde ab, und das ist über dem Himalaja-Massiv höher als über dem Stillen Ozean. Um zu wissen, wo sich der Satellit gerade aufhält, benötigt man die exakte Zeit, aber gerade die will man ja messen! Dazu kommt, dass die Geschwindigkeit der Radiowellen, also die Lichtgeschwindigkeit c , ebenfalls schwankt. Sie hängt von atmosphärischen Bedingungen ab: Bei Feuchtigkeit brauchen Radiowellen länger als bei der Durchquerung von trockener Atmosphäre. Kurzum: Keine der drei Größen ist wirklich konstant oder bekannt.

Das GPS behilft sich damit, jede Woche die Uhren der Satelliten neu zu synchronisieren. Jede Woche wird alles auf Null gesetzt; damit sind sie Satelliten so halbwegs synchron. Den Rest besorgen komplizierte Korrekturformeln, die sich zum Teil auf die Erfahrung, nicht nur auf Theorien, stützen.

Immerhin: Der Beobachter, d.h. hier: der Nutznießer des GPS, ist als "stationär" zu betrachten - für die Theorie klebt er am Boden, auch wenn er mit dem Auto übers Land rast. Doch seine Geschwindigkeit ist im Vergleich zu den

Geschwindigkeiten der Satelliten vernachlässigbar. Was aber Einstein und Poincaré wollten, war die Synchronisierung zueinander mit hoher Geschwindigkeit bewegter Uhren, und das gibt Probleme. Vor allem dann, wenn - wie bei Einstein - der Hin- und Rückflug eines Signals (Ankündigung einer Zeit, Bestätigung der Zeit durch die andere Uhr) *gemittelt* wird, somit die wahren Geschwindigkeiten der Signale gar nicht bekannt sind.

Heute gibt es universelle Taktgeber, z.B. weit entfernt Pulsare, also Sterne, die einander mit hoher Geschwindigkeit umkreisen. An ihnen kann jeder im Universum, der diesen Doppelstern wahrnimmt, die Zeit bestimmen - eine universelle Zeit, die keine Synchronisierungsvorschriften benötigt. Aber zu Einsteins Zeiten waren diese Gebilde unbekannt.

(B) Wie ändern sich die Maxwell-Gleichungen bei Bewegung?

Was sind die Maxwellgleichungen und wozu braucht man sie? JAMES CLERK MAXWELL (1831-1879) fasste die elektromagnetischen Erscheinungen, also die Beziehungen zwischen elektrischen und magnetischen Kräften, in seinen vier berühmten Formeln zusammen (bei Maxwell waren es noch deren zwanzig). HEINRICH HERTZ (1857-1894) gelang es dann, aus diesen Formeln elektromagnetische Wellen abzuleiten und sie auch nachzuweisen - die Grundlage unserer Rundfunk-, Fernseh- und GPS-Technik. Seitdem werden sie als Triumph der mathematischen Physik angesehen. Sie haben nur einen Nachteil: Bewegt sich die Quelle einer elektromagnetischen Strahlung, oder deren Beobachter, oder ändert sich die Lichtgeschwindigkeit, dann stimmen sie nicht mehr. Ihre Form wird ausgesprochen hässlich, der Umgang mit ihnen fast unmöglich. Eine

veränderliche Lichtgeschwindigkeit war in Maxwells Gleichungen nicht vorgesehen.

Das wurmte den holländischen Physiker HENDRIK A. LORENTZ (1871-1844). Der wollte die Formeln in allen "Bezugssystemen" (in allen gleichförmig zueinander bewegten Systemen) gleich haben, rein von der mathematischen Form her. Vor ihm hatte schon der deutsche Physiker WOLDEMAR VOIGT (1850 - 1919) etwas Ähnliches versucht (1887). Lorentz erreichte 1895 sein Ziel, aber natürlich zu einem Preis. Er musste eine neue Zeit einführen, die er "Lokalzeit" nannte und als rein fiktiv betrachtete. Für Poincaré dagegen war die Einführung dieser Lokalzeit eine fantastische Erfindung, die er aus vollem Herzen begrüßte. Und so wurde allmählich aus einer fiktiven eine reale Zeit - aber wer veränderte sie? Dem Mathematiker Poincaré war's egal, dem Physiker Lorentz dagegen nicht. Darum sprach er ja auch von einer "fiktiven" = rein mathematischen Zeit.

Doch bei Lorentz gab es eine reelle Raumänderung (die Lorentz-Kontraktion) und eine fiktive Zeit. Bei Poincaré gab es eine fiktive Raumänderung und eine reale Zeit. Ja was denn nun?

(C) Wie relativ sind Geschwindigkeiten?

Haben Sie sich schon mal gewundert, wieso Tauben, wenn sie auf der Straße spazieren, die ganze Zeit mit den Köpfen nicken? Das muss doch ziemlich anstrengend sein. Ist es nicht, denn wir sehen die Sache falsch. Wir betrachten Tauben aus unserem System, aus dem Blickwinkel des ruhenden Beobachters. Darum nennen wir das System "Ruhesystem". Um das Phänomen des Kopfnickens zu verstehen, müssen wir einen anderen Betrachterstandpunkt