

Die kurze Geschichte der Allgemeinen Gravitation

Andreas Fornefett

Vortrag über die Entstehung und Entwicklung der Idee einer Massenanziehungskraft von Newton über Einstein bis zu den gescheiterten Versuchen der Formulierung einer Quantentheorie der Gravitation für die Fachtagung „Geschichte der Astronomie“ der VdS am 23. Oktober 2004 in Göttingen.

Folie 1:

„Die kurze Geschichte der Allgemeinen Gravitation“

(Andreas Fornefett)

Guten Tag, meine sehr geehrten Damen und Herren!

Das moderne Physiklexikon formuliert den Begriff der Allgemeinen Gravitation wie folgt, ich zitiere:

Eine von vier Wechselwirkungen der Materie ist die Massenanziehung oder Gravitation bzw. Schwerkraft. Obwohl sie die schwächste aller Kräfte sein soll, hält sie scheinbar die Planeten auf ihrer Bahn um die Sonne, die Satelliten auf der Bahn um die Erde und regiert überhaupt das ganze Universum im großen.

Das hat zwei Ursachen. Einmal gibt es nach aller Erfahrung nur eine Gravitationsanziehung, niemals eine Abstoßung zweier Massen. Zum anderen fällt die Massenanziehungskraft mit dem Quadrat des Abstandes ab, hat also eine große, theoretisch unendliche Reichweite. Wenn genügend große Massen beteiligt sind, überwindet deshalb die Gravitation alle anderen Kräfte, sagt die Astrophysik.

Niemand aber weiß bis heute, warum sich zwei Massen gegenseitig anziehen. Wie sie es tun könnten, wird dagegen durch das Gravitationsfeld befriedigend beschrieben. Wenngleich es noch nicht gelungen ist, die Feldquanten bzw. „Gravitonen“ des Gravitationsfeldes zu finden.

Der Nobelpreisträger Richard Feynman merkt ferner in seinem Buch „QED“ zur Gravitation an, ich zitiere noch einmal:

Da die Schwerkraft die mit Abstand schwächste aller Wechselwirkungen ist, kennen wir bislang keine Nachweismethoden für diese winzigen Wirkungen. Nichtsdestotrotz existieren verschiedene Quantentheorien der Gravitation, die Gravitonen und andere Elementarteilchen voraussetzen. Sie erfinden also eine Menge bis jetzt unauffindbarer Partikel, während selbst die besten von ihnen die bekannten Teilchen nicht einzubeziehen vermögen. So fehlt es also nicht nur an Experimenten zur Überprüfung einer Quantentheorie der Gravitation, sondern an einer vernünftigen Theorie überhaupt.

Und Feynman resümiert:

Ein Manko haftet der ganzen Geschichte bis heute an: die Massen der Teilchen. Wir besitzen noch immer keine Theorie, die diese Zahlen adäquat zu erklären verstünde. Zwar benutzen wir diese Zahlen in allen unseren Theorien, aber wir verstehen sie nicht – wir begreifen nicht, was sie sind oder woher sie kommen -, meiner Meinung nach ein fundamentales, hochinteressantes Problem.

Soweit also Feynman zum heutigen Stand der Teilchenphysik im Bereich der Gravitation.

Das Verständnis von der „Massenanziehungskraft“ als einen allgemeinen Mechanismus aller Körper im Himmel und auf Erden, war und bleibt eng verwoben mit den Vorstellungen der Wissenschaft von der Entstehung des Kosmos. Wobei das Geheimnis der Materie im Großen sich einer Erklärung durch die Gravitation geradeso widersetzt, wie im Kleinen. Denn die Entdeckungen im All verlangen immer häufiger die Einführung von Rechengrößen wie Dunkle Materie oder Dunkle Energie, Weiße Löcher oder auch die Korrektur behaupteter Phasen in der vermuteten Entstehung des Universums aus dem sogenannten Urknall. Und dies alles, um die Massebilanz des Kosmos mathematisch immer wieder in Ordnung zu bringen. Existiert die von der Wissenschaft postulierte Allgemeine Gravitation vielleicht gar nicht?

Alle Religionen hatten von Beginn an ihre eigene Anschauung vom Aufbau sowie von Anfang und Ende der Welt. Dagegen begannen Philosophen erst in der Antike damit, sich darüber hinaus mit dem Verhältnis der Dinge zueinander zu beschäftigen. Aristoteles zum Beispiel meinte, jedes Ding besäße zunächst einen natürlichen Platz. Und wenn es fiel oder flog, so war es auf der Suche nach seinem natürlichen Platz. Man mag heute darüber denken, wie man will, es dauerte immerhin länger als tausend Jahre, bis Galilei erneut Anlauf nahm. Möglicherweise bekam Newton bald darauf, vor etwa Dreihundert Jahren, die Angelegenheit halbwegs in den Griff. Einstein hingegen soll - zumindest nach landläufiger Meinung - die Fragen nach dem Verhältnis der Dinge und ihrem Anfang endgültig beantwortet haben.

Die Entwicklung der Idee von der Existenz einer Massenanziehungskraft begann zum Ende der Renaissance; dort, wo die Geschichte der Planetenbewegungen mit Kopernikus, Galilei und Kepler in die Geschichte einer Allgemeinen Gravitation mit Newton überging. Die wissenschaftliche Erforschung der Gravitation im Sinne von „Schwere“ begann also zugleich mit der Entstehung moderner Physik überhaupt. Was ein Grund dafür sein mag, dass die Ideen zur Gravitation sowohl die Entwicklung der Mechanik wie die der Astronomie nicht nur mitbestimmt haben, sondern sie bis heute beherrschen.

Aber, sind schon deshalb die heutigen wissenschaftlichen Vorstellungen „glaubwürdiger“ oder realistischer als die früherer Philosophen, die der Religionen oder Mythen? Dass nicht erst seit heute Zweifel an der Existenz einer Massenanziehungskraft der Materie angebracht erscheinen, möchte ich Ihnen im Folgenden zeigen. Und zwar indem ich mit Ihnen gemeinsam die kurze Geschichte der Gravitation wieder aufrolle; wir deren Entwicklung quasi noch einmal in einem Stück Revue passieren lassen:

Aristoteles glaubte bekanntermaßen, Sonne, Mond, Planeten und andere Sterne würden sich in kreisförmigen Umlaufbahnen um die Erde bewegen, während letztere bewegungslos verharrte. Diese Vorstellung baute Ptolemäus bereits im 2. Jahrhundert nach Christus zu einem kosmologischen Modell aus, das lange Zeit immerhin so genau war, dass man die Positionen der damals bekannten Himmelskörper mit seiner Hilfe vorherzusagen vermochte.

Auch wenn man damals davon ausgehen musste, dass der Mond danach einer Bahn folgen müsste, die ihn manchmal doppelt so nahe an die Erde heranführte, als man dies tatsächlich beobachtete, so wurde das Modell des Ptolemäus trotzdem ganz überwiegend akzeptiert. Und während ihm **K o p e r n i k u s** im Jahre 1514 das heliozentrische System bereits entgegensetzte, das Galilei um 1600 bestätigte, ergänzten die Anhänger des geozentrischen Modells Epizykel um Epizykel, um es vor der wachsenden Kritik zu bewahren.

Die berühmten Fallversuche von **G a l i l e i** führten zunächst einmal zu grundsätzlichen Aussagen über die Bewegung beliebiger Körper in einem gleichförmigen „Schwerebereich“, wie er in der Nähe der Erdoberfläche zweifellos existiert. Galilei hatte im Rahmen seiner Untersuchungen jedoch bemerkt, dass alle Körper in Richtung Erde gleich stark beschleunigt werden. Und zwar nicht in Relation zu ihrem jeweiligen Gewicht – wie Aristoteles dies behauptet hatte, sondern in Abhängigkeit von ihrer stofflichen Beschaffenheit, ihrer Dichte. Womit Galilei eine wichtige Eigenschaft der Schwerkraft entdeckt hatte. Und er hatte erkannt, dass außerhalb eines Schwerebereichs eine in Gang gesetzte Bewegung theoretisch ohne weiteren Antrieb geradlinig und gleichförmig andauern könnte. Eine Erklärung für zyklische Bewegungen bzw. Beschleunigungen hatte er hingegen noch nicht gefunden.

K e p l e r s Gesetze der Himmelsmechanik bzw. der Planetenbewegungen hatten jedoch zugleich die Kreisform der Planetenbahnen in Frage gestellt, an der Kopernikus – strenger als Ptolemäus – festgehalten hatte. Keplers Ellipsen verlangten nach einer dynamischen Deutung zyklischer Bewegungen. Zeigte doch sein berühmter „Flächensatz“, dass eine Reduktion elliptischer Bewegungen auf gleichförmige Kreisbewegungen nicht ohne weiteres in Frage kam. Die rechnerische Geschwindigkeit im Aphel (dem am weitesten von der Sonne entfernten Bahnpunkt eines Planeten) war seiner Erkenntnis nach geringer als im Perihel (dem sonnennächsten Punkt). Tatsächlich verlaufen die Umlaufbahnen der Planeten zwar fast kreisförmig, doch vom numerischen Standpunkt aus brachte Kepler, vor allem bezüglich der Vorhersage der astronomischen Längen, die Wissenschaft voran. Allerdings gab der von ihm festgestellte Zusammenhang zwischen mittleren Abständen der Planeten zur Sonne und ihren Umlaufzeiten weiterhin Rätsel auf.

D e s c a r t e s hatte darüber hinaus gerade die Beliebigkeit des Bezugssystems von Bewegungen erkannt und dabei - klarer wiederum als Galilei - Ruhe und Bewegung als gleichberechtigte Zustände behandelt. Seine Erklärungen hatten aber nur weitere Fragen aufgeworfen. So hatte Descartes in den Impulsbeträgen die entscheidende Größe für Bewegung sehen wollen und die Richtung eines Impulses unbeachtet gelassen. Und er hatte für die Schwere und die Bewegungen der Planeten behauptet, dass die sie betreffenden makroskopischen Erscheinungen durch Wirbel mikroskopischer Stoffe erklärt werden könnten. Descartes hatte Materie „selbstschöpferische“ Kraft verleihen wollen und ihre Wirkungen in der Bewegung gesucht. Wie viele Forscher des Altertums vermutete er, dass eine Kraftübertragung nur durch unmittelbaren Kontakt, durch Druck oder Stoß möglich ist. Jegliche Fernwirkung von Kräften lehnte er ab, einen stofflich leeren Raum hatte er sich nicht vorstellen wollen. Ein Äther sollte den Raum ausfüllen. Später beachtliche Ideen, ließen sie zur Zeit Otto von **G u e r i c k e s** und Evangelista **T o r i c e l l i s**, die gerade mit luftleerem Raum, dem physikalischen Vakuum, experimentierten, noch viele Fragen offen.

Diese, wie natürlich viele andere Gedanken und Zweifel, bildeten vor rund dreihundert Jahren quasi die Vorlagen bzw. Herausforderungen, vor die sich **N e w t o n** gestellt sah. Der methodische Rahmen, innerhalb dessen er Probleme bzw. Fragen anzugehen hatte, war zudem gesteckt durch die griechische Geometrie und eine weit entwickelte Algebra. Sie beide:

Geometrie und Algebra, hatte Descartes bereits in einem Koordinatensystem verknüpft, und Newton selbst bekanntermaßen die Differentialrechnung entwickelt.

Nun zeigte Newton auf mathematische Weise, dass ein Planet im leeren Raum von der Sonne mit einer bestimmten Kraft angezogen werden müsse. Diese Kraft konnte für unveränderliche Körper allein über ihr Verhältnis zur Entfernung eines betrachteten Planeten vom Zentrum der Sonne ausgedrückt werden:

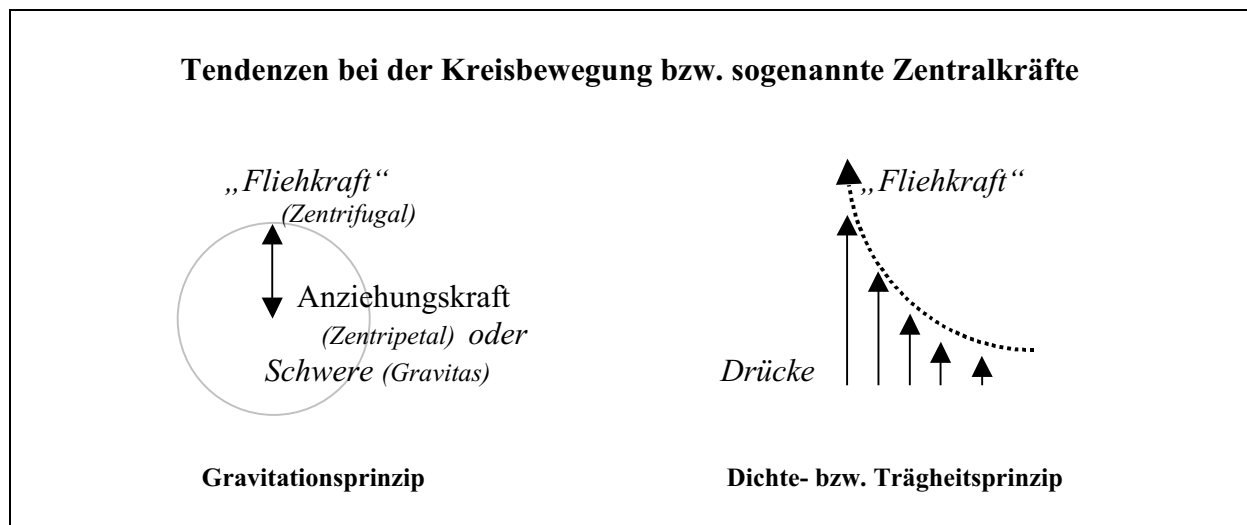
(Tafel:) *Anziehungskraft* ist proportional zu $1 / \text{Bahnradius zum Quadrat}$.

Newton hatte diese Vorstellung aus dem Gedanken heraus entwickelt, dass die umlaufenden Planeten danach streben müssten, sich von der Sonne zu entfernen. Die Tendenz dazu lässt sich mathematisch entsprechend ausdrücken:

(Tafel:) *Tendenz sich vom Mittelpunkt zu entfernen* ist proportional zu $1 / \text{Bahnradius zum Quadrat}$.

Wenn die Planeten also eine Tendenz zur Entfernung von der Sonne erfahren würden, dann sollte es – nach dem von ihm entdeckten Gesetz von Kraft und Gegenkraft - auch eine dieser fiktiven Fliehkraft entgegen wirkende Anziehungskraft geben, welche die Planeten auf ihrer Bahn hielt.

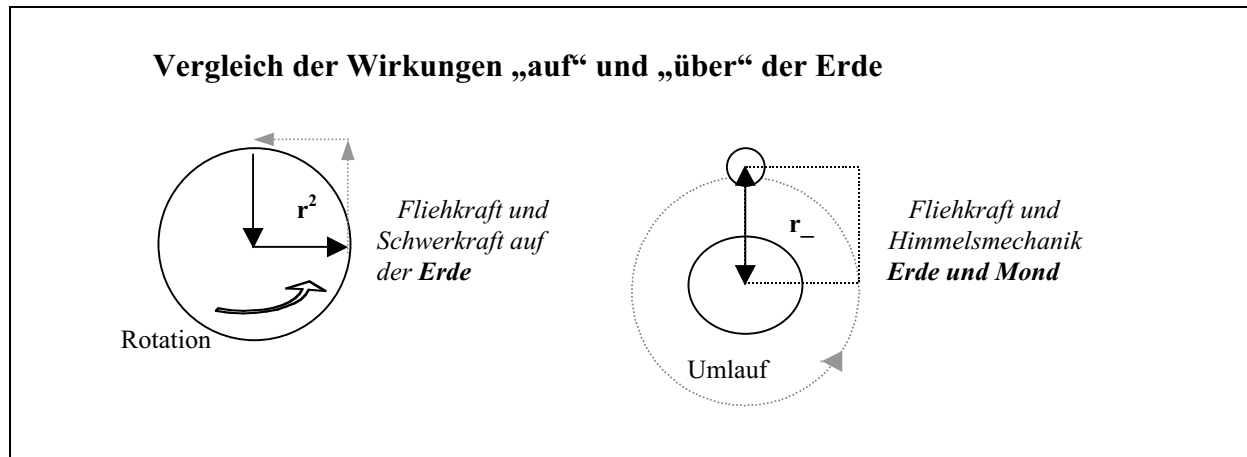
Folie 2:



Newton hatte zuvor festgestellt gehabt, dass sich die Beschleunigungen der unterstellten Fliehkräfte auf verschiedenen Kreisbahnen so verhalten müssten, wie die Radien und die Quadrate der Anzahlen der in gleichen Zeiträumen vollführten Umläufe. Wir kennen das heute vom Kettenkarussell, je schneller es sich dreht, umso stärker scheint uns irgendetwas in die Sitze zu drücken. Und Newton hatte quasi herausgefunden, dass es auf die Länge der Ketten zwischen den Sitzen und dem Karussell ankam, den entsprechenden Radius der Kreisbewegung also. Diese Regel hatte Newton als mögliche Verbindung zwischen „Schwerkraft“ und „Himmelsmechanik“ angesehen und seine Untersuchungen von der Mechanik auf der Erde daraufhin in den Kosmos ausgedehnt.

Entscheidend für die spätere Aufstellung seiner Theorie von einer Allgemeinen Anziehungskraft oder Gravitation waren allerdings Newtons Berechnungen, mit denen er – gedanklich nun wieder aus der entgegengesetzten Richtung kommend - die Fliehkraft-Beschleunigung, die der Mond auf seiner Umlaufbahn um die Erde erfahren sollte, mit der Schwerkraft-Beschleunigung an der Erdoberfläche verglich.

Folie 3:



Die volle Bedeutung all dieser Vergleiche mag aus dem Folgenden klar werden: Newton leitete mit Hilfe des Dritten Keplerschen Gesetzes ein „ $1 / r_{-}$ - Gesetz“, wie oben dargestellt, für die Planetenbewegungen ab. Damit lag es nahe, ein solches Gesetz auch für das System Erde und Mond anzunehmen. Sollte sich nun zwischen der vermuteten Kraft, die den Mond auf seiner Bahn hielt und der irdischen Schwerkraft ein „ $1 / r_{-}$ - Zusammenhang“ ergeben, so stützte das seiner Meinung nach die Annahme, dass es sich hier um ein universelles Gesetz handeln könnte.

Dementsprechend blieb für Newton das Ergebnis seines Ansatzes zunächst einmal sehr unbefriedigend. Statt eines erwarteten Faktors, der sich aus der Schwerebeschleunigung an der Erdoberfläche zur Entfernung des Mondes ergeben sollte, erhielt er trotz einer sehr genauen Rechnung einen deutlich höheren Faktor. Die Diskrepanz wurde zwar später mit der Annahme eines zu kleinen Wertes für den Erdradius entschuldigt. Doch abgesehen von der Unmöglichkeit, die Massen von Planeten oder Sonnen überhaupt zu messen, vermochte sich die Wissenschaft bis heute nicht darüber einig zu werden, ob die von ihr unterstellte Konstanz des errechneten Proportionalitätsfaktors, der in den Gleichungen zur Berechnung der Gravitationskraft enthalten ist, überhaupt unterstellt werden dürfte oder nicht:

(Tafel:)
$$\text{Gravitationskraft} = \text{Konstante} \times \text{Masse}_1 \times \text{Masse}_2 / \text{Schwerpunkt Abstand}_{-}$$

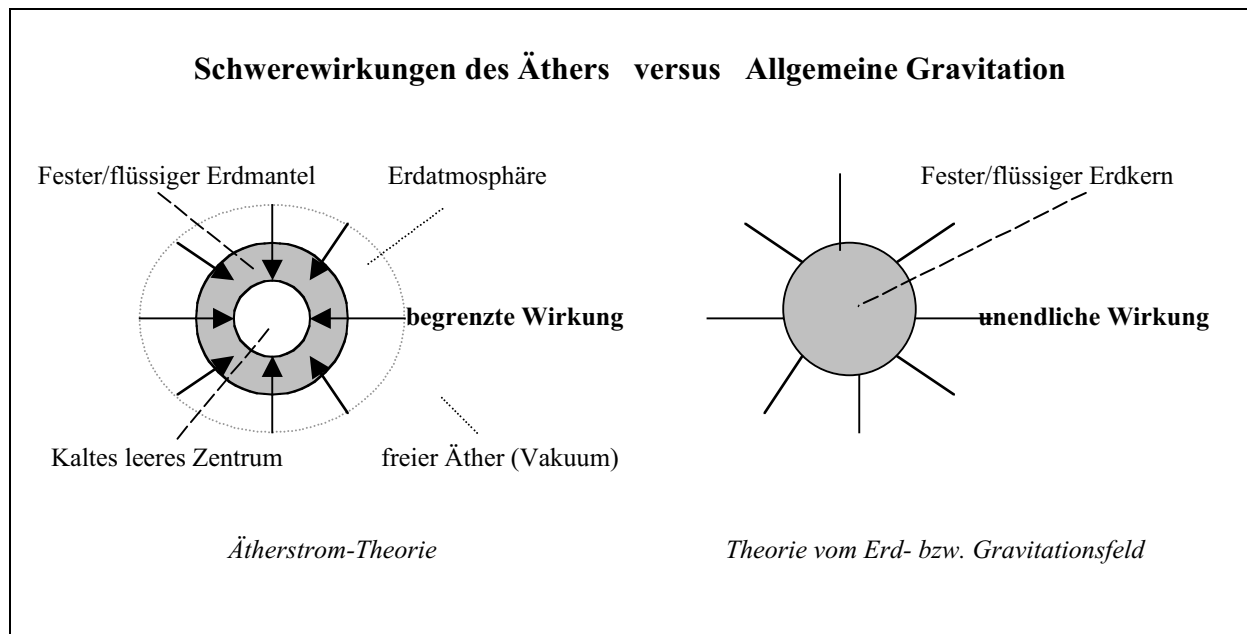
Wie auch immer, für Newton eröffneten damals verschiedene **K r e i s p h ä n o m e n e** die Idee einer möglichen Allgemeinen Gravitation im gesamten Planetensystem. Das heißt, es ist hier bereits zu erkennen:

Newton rechnet das Gesetz für Fliehkräfte aus, genauer gesagt, für die Tendenz eines Planeten, sich von der Sonne zu entfernen. Er denkt sich, dass die Planeten bzw. der Mond im Verhältnis zur Erde diesen unterstellten Fliehkräften sofort nachgeben, ihre Entfernung zu dem Gestirn vergrößern würden, vor dem sie scheinbar zu fliehen versuchen, wenn sie nicht

durch eine gleich große Anziehungskraft auf ihrer Bahn gehalten würden. Er sucht also die Möglichkeit, seinen Ausdruck für die Tendenz der Fliehkraft ins Spiel zu bringen. Fliehkraft und anziehende Zentralkräfte, genauer: die Tendenz einer Kanonenkugel auf die Erde zu fallen, stehen dann völlig gleichberechtigt auf derselben Stufe - mathematisch jedenfalls.

Ich betone das, weil ich in der Formulierung eines Zusammenhangs der Phänomene der „Schwere“ und der „Himmelsmechanik“ mit Hilfe der reinen Mathematik keinen Beweis im strengen Sinne für eine Allgemeine Gravitation (Massenanziehungskraft) erkennen kann – Mond oder Kanonenkugel könnten mit der gleichen Begründung tendenziell gegen die Erde gedrückt werden.

Folie 4:



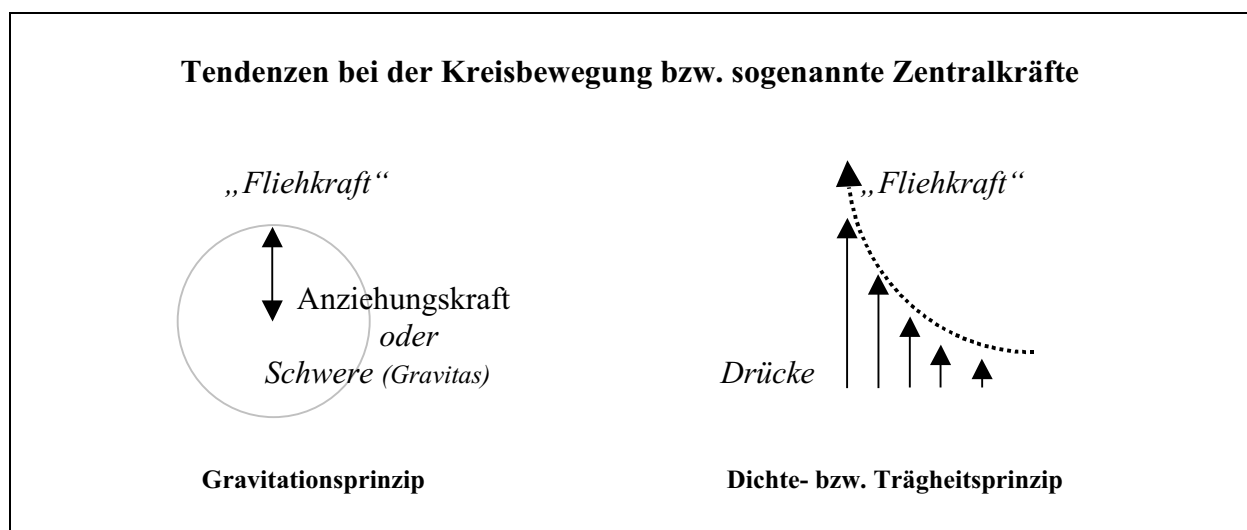
Wie die in der Folge aber unterstellten unendlich anziehenden Wirkungen entstehen könnten, nun „Allgemeine Gravitation“ oder kurz „Gravitation“ genannt, vermochte schon Newton nicht zu erklären. Was sollte das unsichtbare Band, die Kette des Karussells, sein - Wellen, Teilchen, Gott? *Die wunderbare Einrichtung und Harmonie des Weltalls kann nur nach dem Plan eines allwissenden und allmächtigen Wesens zustande gekommen sein. Das ist und bleibt meine letzte und höchste Erkenntnis*, schreibt Newton damals. Entgegen der Auffassung heutiger Wissenschaftler, dass die Gravitation in der Materie stecken sollte, war er allerdings davon überzeugt, dass die Gravitation nicht allein durch die Materie erklärt werden könne. Materie konnte nach Newtons Auffassung von sich aus keine Gravitation verursachen. Von ihm unbeantwortet blieb vielleicht schon deshalb die Frage: Was die Materie eigentlich auseinander halten könnte, wenn es tatsächlich irgendeine von der Materie ausgehende Kraft geben sollte, die alle Dinge sich gegenseitig anziehen lässt.

Wie sollte Materie aufgebaut sein bzw. was die Planeten auseinanderhalten? Die Frage nach der Gegenkraft zur Gravitation, einer notwendigen „Druckkraft“, wenn es denn eine Anziehungs- bzw. Sogkraft geben sollte, ist bis heute tatsächlich nicht nur unbeantwortet geblieben, sie wird – anders als von Newton in seinem Brief an Richard Bentley - von der

etablierten Wissenschaft regelrecht verdrängt. Gelegentlich wird in der Literatur so getan, als sei diese Frage zugleich mit der Urknalltheorie geklärt; tatsächlich ist das aber nicht der Fall.

Beinahe unbezweifelt gilt zudem landläufig die irrige Meinung: Jede Rotation erzeuge Fliehkräfte, durch welche die Bestandteile des rotierenden Systems nach außen getrieben werden, wenn sie nicht durch eine nach innen gerichtete Kraft an das Rotationszentrum gebunden werden. Wobei nach innen gerichtet, zusammenhaltend also, seit Newton eben angeblich die Massenanziehungskraft wirkt. Woraus man dann folgert, dass ein schnell rotierendes System in seinem Inneren eine sehr hohe Masse enthalten muss. Schnell rotierende Luft- oder Wasserwirbel machen demgegenüber in der Karibik oder über Florida immer wieder deutlich, dass in der realen Natur gerade das Gegenteil der Fall ist:

Folie 5:



Je größer die Rotationsgeschwindigkeit des Wirbels, desto größer ist die Kraftwirkung nach innen. In jedem Wirbel besteht durch ein nach innen gerichtetes starkes Druckgefälle eine große Sogwirkung und durch die differentielle Rotation des Mediums werden alle vom Wirbel erfassten Gegenstände förmlich zum Mittelpunkt des Wirbels gedrückt. Erst dann, wenn gegen diese Wirkung nach innen Widerstände aufgebaut werden, können sogenannte „Fliehkräfte“ überhaupt entstehen.

Erinnern Sie sich an das Karussell-Beispiel? Was geschieht wohl, wenn es sich schneller und schneller drehen würde? Am Ende würde man wieder nach innen gedrückt werden – so, wie bei jeder Beschleunigung. Ein Gedanke, der uns unmittelbar zu dem großen Thema führt, das heute im Zusammenhang mit der Schwere betrachtet wird und so quasi verlorengegangen ist.

Newton unterschied nämlich zwei Arten von „Massen“ bzw. Masseneffekten. Neben der Schwere, die Materie auf der Erde zu deren Zentrum hin aufweist, war die Trägheit, das Beharrungsvermögen von Körpern damals von nicht minderer Bedeutung:

Die „schwere Masse“ (m), die wir eben betrachtet haben, sollte für die Anziehung von zwei Körpern zuständig sein. Sie entspricht heute in der bildlichen Vorstellung der Physiker der elektrischen Ladung, soll also eine Art gravitative Ladung der Materie repräsentieren, die

allerdings erheblich (um Neununddreißig Zehnerpotenzen) schwächer als die elektrische Ladung sein soll.

Die „träge Masse“ (m_T) bezeichnet demgegenüber den Widerstand, den ein Körper einer Änderung seines Bewegungszustands entgegenzusetzen vermag. Ein zweiter Körper sollte hierzu nicht nötig sein. Seine Ursache gilt noch immer als unbekannt. Man versucht aber seit Einstein die träge Masse über die schwere Masse zu „erklären“. Die Trägheit soll danach durch alle anderen Massen im Universum hervorgerufen werden.

Anfangs hatte Newton die Ursache für die Trägheit der Dinge in einem im leeren Raum verteilten Ätherstoff bzw. in dessen schwankender Dichte gesehen. In seinem Manuskript „*de gravitatione*“ definiert er Körper, Raum und Zeit noch entsprechend. Newton fasste dabei ein sogenanntes „Fluidum“ nicht wie Wasser, als eine Flüssigkeit, sondern als einen Körper auf, eher wie Sand also, dessen Teile keine Bindungskräfte aufeinander ausüben und der somit keine Möglichkeit hat, einer vorherrschenden Druckkraft irgendeinen Widerstand entgegen zu setzen. Er muss ihr vielmehr durch innere Bewegung nachgeben. In einem Fluidum ruhen die Teile dann und auch nur untereinander, wenn die ausgeübten Druckkräfte gleich mächtig sind. Ruhe aller Teile zueinander und Gleichmächtigkeit der Druckkräfte sind im Fluidum, im Gegensatz zu härteren oder starren Körpern, völlig äquivalent. Und die Dichte eines solchen Fluidums bestimmte für ihn nun die Trägheit in ihm befindlicher Gegenstände.

Von dieser Seite betrachtet, legte Newton in seinem später erschienenen Buch *Principia* im Rahmen der Betrachtung der Schwerkraft völlig überraschend dar, dass es im interplanetaren Raum kein Medium geben könne, das einen Widerstand verursachte. Newton dazu: *Ich habe nicht dahin gelangen können, aus den Erscheinungen die Ursache dieser Erscheinungen der Schwerkraft abzuleiten. Und Hypothesen erdenke ich nicht.*

Während Newton also o f f i z i e l l einer „Zug-Theorie“ der Gravitation anhing (inoffiziell einer Ätherstromtheorie) und die Trägheit von dieser dementsprechend unterschied, vertrat sein Zeitgenosse und Freund Nicolas Fatio de D u i l l i e r eine, den Fluidumgedanken einheitlich interpretierende „Druck-Theorie“ der Schwerkraft und der Trägheit:

Seiner Meinung nach sollten zwei Körper einander nicht anziehen, sondern vielmehr durch unsichtbare Teilchen, die regellos durchs All schwirren, zueinander gedrückt werden. Standen danach zwei Körper einander nahe, sollte es zwischen ihnen eine Art Teilchenschatten, ähnlich dem Lichtschatten geben, so dass sich in diesem Zwischenraum weniger abstoßende Teilchen befinden. Im Ergebnis sollten die Teilchen außerhalb des Schattens die beiden Körper aufeinander zu drücken. Mathematisch ausgearbeitet, ohne Widerspruch zu den Formeln Newtons, stellte Georges Louis Le Sage diese Theorie im Jahre 1756 einer unwilligen Öffentlichkeit vor. Danach blieb sie unbeachtet. Newtons Gravitationstheorie hingegen stieß zwar zunächst bei vielen Kontinentaleuropäern ebenso auf Vorbehalte und Widerstand, konnte sich aber bekanntermaßen am Ende gegen alle Kritik behaupten.

Den schärfsten Angriff auf Newtons Lehren führte Gottfried Wilhelm L e i b n i t z. Er kritisierte Newton auf vielen Ebenen und entwickelte konkurrierende Ideen unter anderem zu dessen Gesetzen der Planetenbewegung, zum Verhältnis zwischen Gott und Natur, der Existenz des leeren Raums sowie zu den Begriffen „Raum“ und „Zeit“. Raum und Zeit waren nach Meinung von Leibnitz nicht absolut, sondern stets abhängig vom Subjekt. Newton hatte dagegen versucht, zwischen relativem und absolutem Raum zu unterscheiden. Und er setzte sich damit zunächst einmal gegen Leibnitz durch.

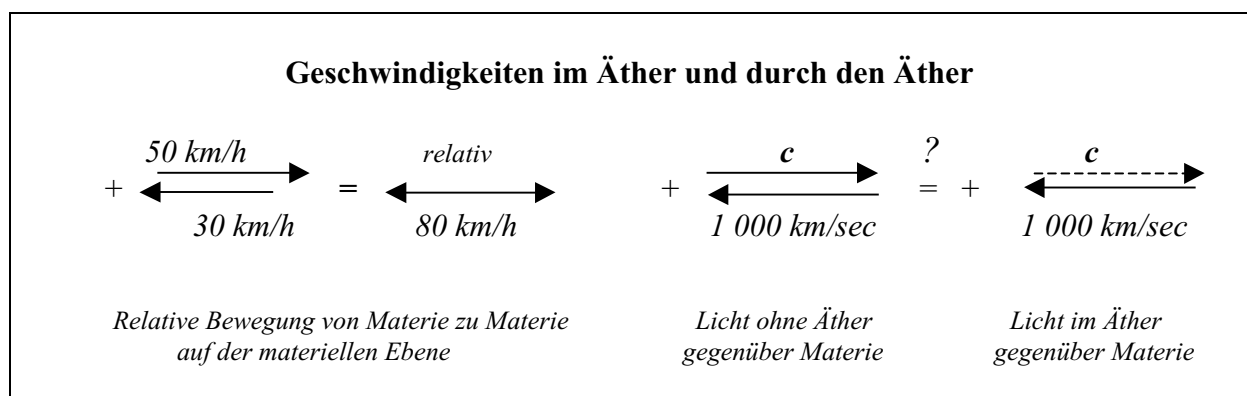
Newton hatte die Gravitation jedoch als Fernwirkung gedeutet, seine Theorie bedurfte dem entsprechend eines leeren Raums. Der im 19. Jahrhundert schließlich entwickelte Begriff des „elektromagnetischen Feldes“ erlaubte es dagegen, die Gravitation auf das Vorhandensein sogenannter „Gravitationsfelder“ zurückzuführen, die den Raum in der Umgebung eines Körpers erfüllen sollten, in welchem dieser auf andere Körper eine Anziehungskraft ausübt. Einstein entwickelte daraus schließlich eine völlig neue Formulierung der Gravitation. Der von einer primär existierenden Materie abhängige Hintergrund sollte danach Raum an sich sein und die Zeit quasi eine vierte Dimension dieses unbegrenzten, aber endlichen Raums, den die enthaltenen Massen um sich herum formten.

Zu diesem Schritt wurde Einstein veranlasst durch ein Dilemma, das zu der Zeit einige der größten Geister der Physik beschäftigte. Der Kern des Problems war, dass ein Äther sich nicht nachweisen ließ und dass trotzdem die Lichtgeschwindigkeit immer konstant zu sein schien.

Wissenschaftler stellten wieder und wieder fest, dass - unabhängig von der Geschwindigkeit des Beobachters - Licht im Vakuum eine Geschwindigkeit von $c = \text{rund } 300\,000 \text{ km/sec}$ besitzt. Die damals von vielen Physikern unterstellte Existenz eines Äthers als einer von der materiellen Ebene unabhängige immaterielle, feinstoffliche Ebene ließ eine Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zu. In einem Äther, der von der materiellen Ebene verschieden existiert, kann sich Licht soweit es Materie durchdringt zwar nur in Abhängigkeit von der Dichte der Materie auf der materiellen Ebene fortpflanzen. Doch die Neigung zur Annahme eines Äthers in der Physik selbst war ja aus der Notwendigkeit erwachsen, zu erklären, wie sich das Licht der Sterne durch den von Materie freien Raum des Weltalls fortpflanzen würde. Und im Vakuum blieb die Unabhängigkeit eben völlig gewahrt. Man nahm also an, der Äther erfülle allen Raum und durchdringe alle Materie: Wie sonst konnte das Licht durch den Weltraum gelangen und ohne Probleme eine massive Glasscheibe durchdringen? Erst durch Brechungen an oder Reflexionen durch die Materie sollte es überhaupt sichtbar werden.

Demgegenüber hätten sich Licht und Materie ohne einen Äther auf derselben Ebene begegnen müssen und damit auch auf materielle Weise „relativ“ zueinander bewegen:

Folie 6:



Zunächst hatte sich diese Frage also nicht gestellt gehabt. War man doch von der Existenz eines Äthers überzeugt gewesen. Bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts jedenfalls schien vielen Physikern mit Hilfe des Äthers sogar die Entdeckung eines einfachen, einheitlichen physikalischen Weltbildes in greifbare Nähe gerückt. Ein Modell, dass alle Formen der

Energie auf denselben Ursprung zurückführen sollte: das elektromagnetische Feld im Äther. Ein wirkliches Rätsel gab da eher die Allgemeine Gravitation auf. Sie stand als einzige Energie damals noch außerhalb dieses Weltbildes. Man hoffte aber, dass auch die Gravitation sich eines Tages als eine Wirkung des Äthers werde verstehen lassen.

Allerdings dachte man auch, der Äther stehe absolut still, während alle Himmelskörper sich darin bewegten. Infolgedessen argumentierten Wissenschaftler: Wenn man herausfinden könnte, wie schnell die Erde sich durch diesen stillstehenden Äther bewegt, würde man daraus errechnen können, wie schnell sie sich relativ zum übrigen Weltall bewegte. Mit der Bestimmung dieser sogenannten absoluten Bewegung könne der Mensch schließlich die Tatsache beweisen, dass der Äther auch wirklich existiere. Auf die Suche begab sich Albert Michelson. Acht Jahre lang stellte er Untersuchungen an, die im verhängnisvollen Experiment gipfelten, das er mit Edward Morley im Jahre 1881 ausführte.

Ihr Ziel war es zu zeigen, dass ein ruhender Weltraumäther existierte und die Erde sich in diesem bewegte. Dieser und alle folgenden Versuche zeigten aber, dass die Erde wohl eher horizontal im Äther ruhen müsste. Da die Erde sich anerkanntermaßen drehte, ergab sich ein Widerspruch zur Annahme, dass der Äther im Universum ruht.

Während über den akademischen Elfenbeintürmen Gewitterwolken aufzogen, erfand Einstein stattdessen die Welt einfach neu. Er erkannte, dass das ganze Problem verschwand, wenn man den Gedanken an einen materiellen, universalen Raum aufgab. Wenn jeder Mensch seinen eigenen Raum und seine eigene Zeit einnähme, statt dass wir uns alle einen Raum und eine Zeit teilten. Im Raum eines jeden einzelnen würde die Lichtgeschwindigkeit für ihn selbst konstant sein. Einstein zufolge waren demnach „Raum“ und „Zeit“ nicht absolute, sondern relative Phänomene, wie es Leibnitz, der erklärte Gegner Newtons, oder Mach zuvor schon behauptet hatten. Einstein gelang es, seine Idee in eine mathematische Form zu fassen, die zeigte, wie sich Raum und Zeit änderten, je nach Geschwindigkeit eines jeden Beobachters. Je größer die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen zwei Menschen, desto größer würde die Differenz in ihrer Wahrnehmung von Raum und Zeit sein.

Seine Spezielle Relativitätstheorie befasste sich dementsprechend mit der Transformation physikalischer Größen, wie Länge, Zeit, Impuls, Energie, von einem System in ein anderes. Die Art der auf ihr beruhenden Umrechnung ist unter dem Namen „Lorentz-Transformation“ bekannt. Hendrik A. Lorentz hatte sie nämlich eigentlich im Zusammenhang mit der Theorie elektromagnetischer Felder entwickelt. Einstein erweiterte sie in seiner Speziellen Relativitätstheorie auf alle Naturgesetze. Wobei die Zeit, vorher als absolute bzw. gleiche Größe über alle Systeme, nunmehr als relativ zu einem Bezugssystem gesehen wurde. Und weil man keine Relativbewegung zum Äther hatte feststellen können und dieser deshalb nicht mehr existieren sollte, schien es unmöglich überhaupt ein ruhendes Bezugssystem zu finden. Weshalb man sich mit der Formulierung eines Relativitätsprinzips zufrieden gab, wie es im Grunde aber schon Descartes für eine Welt absolut verlaufender und relativ betrachteter Bewegungen beschrieben hatte:

Alle Naturgesetze sind gleich in Systemen, die sich gleichförmig und geradlinig gegeneinander bewegen. Jedes dieser Systeme kann mit gleicher Berechtigung als ruhend angesehen werden. Alle messbaren Geschwindigkeiten dieser Systeme sind daher Relativgeschwindigkeiten.

Nimmt man dann das durch die Versuche von Michelson und Morley als experimentell abgesichert geltende Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in allen Systemen hinzu, sind damit bereits sämtliche Überlegungen zur Speziellen Relativitätstheorie erfasst.

Hätte man also später aus diesen Sätzen nicht abgeleitet wissen wollen, dass es keine absoluten Bewegungen gibt, auch wenn man sie gerade nicht misst, dann wäre alles fiktiv und einfach zu verstehen geblieben. Denn die Kernaussage der Speziellen Relativitätstheorie:

Die Lichtgeschwindigkeit ist für alle Beobachter die gleiche, unabhängig davon wie schnell sie sich bewegen,

hatte ja ihre Erklärung bereits in der Äthertheorie gefunden gehabt.

Einstein relativierte schließlich alle Bewegungen im Prinzip nur über die für alle Systeme gleiche Lichtgeschwindigkeit. Er führte über seine Transformationen quasi eine gemeinsame Zeitdimension ein. Und zwar die des unterliegenden elektromagnetischen Feldes, dem Äther. Er „taktete“ quasi alle Systeme mit Hilfe der Lichtgeschwindigkeit gleich. Der Lichttakt eines Quants nach den Berechnungen von Max Planck zum Wirkungsquantum sollte deshalb vom Takt der Ladung eines Ätherelements kaum abweichen. Im Wirkungsquantum drückt sich nämlich der Teilchencharakter der Erscheinungen in der Mikrophysik aus. Was bedeutet: Lässt man den Wert des Wirkungsquantums in Gedanken gegen Null gehen, so gehen am Ende die Gesetze der Quantenmechanik wieder in die der klassischen Physik über.

Viele mathematische Schlussfolgerungen allerdings, die Experten aus den Formeln der Speziellen Relativitätstheorie nach und nach zogen, scheinen mir dagegen völlig absurd. Die berühmten Phänomene der Zeitdilatation und der Längenkontraktion, waren nämlich vor der Publikation der Speziellen Relativitätstheorie in einem gänzlich anderen Zusammenhang bereits erwartet, problematisiert und weniger phantastisch erklärt worden. Und zwar hatten – gerade um die Nicht-Nachweisbarkeit des angenommenen Ätherwinds durch Michelson und Morley rechtfertigen zu können - Lorentz und Henri Poincaré, diese Effekte als ihrer Meinung nach wichtige Annahmen einer Äthertheorie bereits in die Physik eingeführt gehabt.

Folie 7:

Lorentz hatte sich vorgestellt,

- dass Körper, die sich schnell durch den Äther bewegten, in Längsrichtung gestaucht würden (Längenkontraktion);
- dass, wegen der Dichte des Mediums, Vorgänge im bewegten Körper langsamer ablaufen müssten, als in einem gegenüber dem Äther ruhenden Körper (Uhr-Zeitdilatation);
- dass der Widerstand gegen Beschleunigungen mit der Beschleunigung zunimmt (Trägheit).

Poincaré hatte die entsprechenden Überlegungen und Formeln in seinem Buch „Wissenschaft und Hypothese“ zusammengefasst. Peter Ripota wirft Einstein deshalb vor, er soll Poincarés Formeln übernommen und lediglich den Äthergedanken daraus eliminiert haben. Einstein habe dies getan, um damit das Gegenteil dessen zu zeigen, was Lorentz und Poincaré eigentlich bezweckten.

Die ersten Reaktionen der damaligen Fachwelt auf die erstaunliche Darlegung der Speziellen Relativitätstheorie durch Einstein waren - soweit sie anfangs überhaupt Beachtung fand - blanker Unglaube. Weil aber die Spezielle Relativitätstheorie, wie ich dies soeben versucht habe darzulegen, zunächst reine Beobachterphänome beschrieb und diese äußerst korrekt zu messen half, weil man die Zeit für den Weg elektromagnetischer Messungen berücksichtigte, konnte die praktische Anwendung der Theorie die Skeptiker schließlich überzeugen.

Berücksichtigt man dazu noch das sich zeitgleich entwickelnde Selbstverständnis der Physik: „es existiert nichts, was man nicht messen kann“, wird verständlich, wie die Spezielle Relativität nach und nach die Realität am Ende ersetzen konnte. Unter den Physikern wurde es regelrecht Mode, auf jegliche anschauliche physikalische Erklärung zu verzichten und darauf auch noch stolz zu sein. Und langsam, aber sicher überließ das *begriffliche Ungetüm des absoluten Raums*, wie Mach es ausdrückte, *das Feld der befreienden Vision von relativem Raum und relativer Zeit*. Und im Alter von gerade einmal sechsundzwanzig Jahren hatte Einstein damit das wissenschaftliche Verständnis der abendländischen Welt von „Raum“ und „Zeit“ ein erstes Mal revolutioniert.

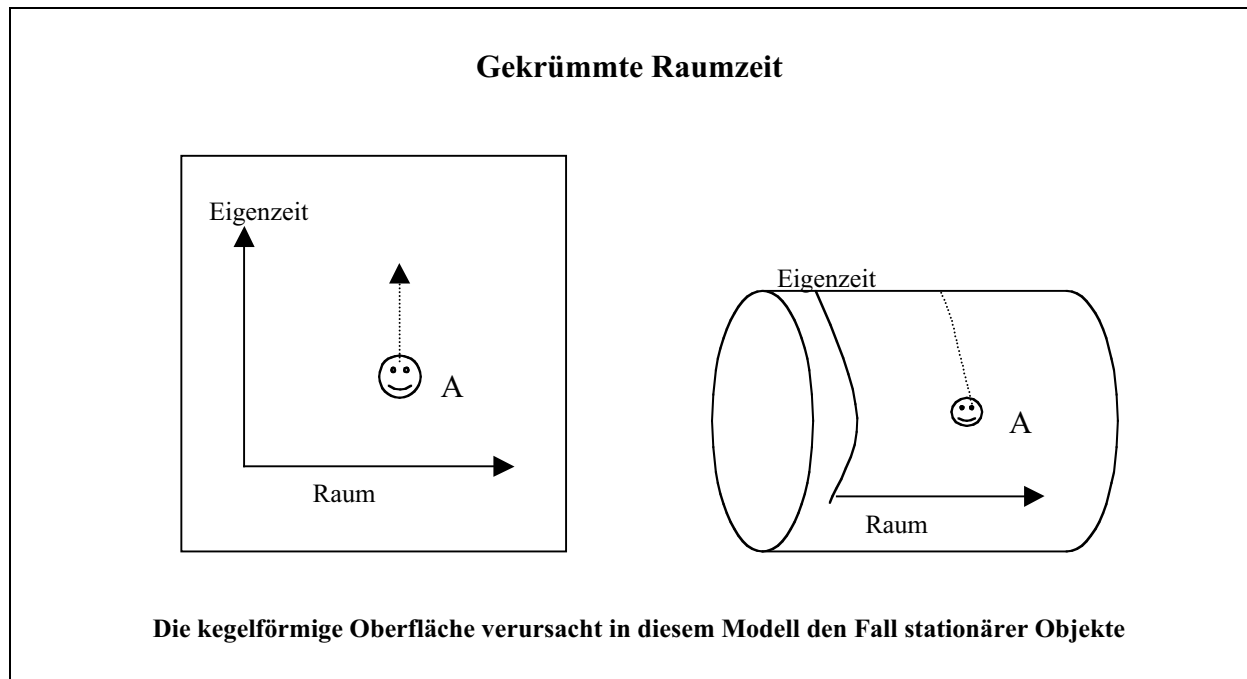
Die Spezielle Relativitätstheorie befasste sich allerdings ausschließlich mit Körpern in konstanter Bewegung, mit fiktiven Prozessen also. Einstein hatte zu diesem Zweck zunächst nur die nötigen Transformationen zwischen sogenannten *I n e r t i a l s y s t e m e n* behandeln müssen; zwischen Systemen, die sich geradlinig gleichförmig bewegen, wie eine Masse also, die man sich selbst überlässt und auf die keine äußeren Kräfte einwirken. Ein solches Inertialsystem, mit eigenen Ortskoordinaten und einer Eigenzeit, lässt sich eigentlich gar nicht realisieren. Lediglich ein Raumschiff mit abgeschaltetem Antrieb, weit entfernt von anderen Massen, die es beschleunigen könnten, käme einem solchen System vielleicht nahe. Es handelte sich, wie bei vielen anderen physikalischen Annahmen, also um eine Idealvorstellung, die theoretischen Überlegungen nützt.

Nachdem Einstein durch weitere Gedankenexperimente erkannt zu haben glaubte, dass man gleichmäßig beschleunigte Systeme von Systemen in einem Schwerfeld nicht unterscheiden könne, fragte er sich, wie die Beschleunigung sich auf Raum und Zeit auswirken würde? Einstein begann über eine Theorie nachzudenken, die den allgemeinen Fall jeder Bewegung erfassen sollte. Eine Theorie, die beschrieb, was unter allen dynamischen Bedingungen mit Raum und Zeit geschieht. Die Form der dazu notwendigen mathematischen Formeln, die Einstein suchte, sollte für jedes Koordinatensystem gleichermaßen passen. Zehn Jahre nach Veröffentlichung seiner Speziellen Relativitätstheorie überraschte der inzwischen immer noch relativ unbekannte Einstein die Fachwelt mit einer neuen Theorie.

Die Bezeichnung Allgemeine Relativitätstheorie, die nicht von Einstein selbst stammen soll, legt nahe, dass sie eine Erweiterung der Speziellen darstellt. Das tut sie aber nicht. Diese beiden Theorien behandeln nicht nur unterschiedliche Gegenstände. Sie widersprechen sich teilweise sogar in ihren entscheidenden Aussagen. Und sollte im Newtonschen Weltbild der offizielle Raum seiner Planeten quasi eine passive Bühne sein, auf der sich Planeten befinden, so sollte der Raum der Allgemeinen Relativitätstheorie fortan aktiv am *kosmologischen Drama* teilnehmen.

Für die meisten Menschen stellt das Weltall heute noch ein leere Kiste dar – drei lineare Dimensionen, die sich als grenzenlose Leere ewig erstrecken. Der Raum der Allgemeinen Relativität soll dagegen eher mit gedachten Membranen gefüllt sein. Einige Physiker benutzen deshalb gern das Bild eines gespannten Gummituchs:

Folie 8:



Stellen sie sich vor, man legte eine Kugel auf das Tuch. Das führte dazu, dass das Gummi um die Kugel herum nachgibt. Es entsteht eine Vertiefung. Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie ist es das, was ein Massenkörper, wie die Sonne, mit den Membranen des Raums tun soll. Sie verzerrt um sich herum den Raum und verursacht eine Vertiefung im sonst flachen Bereich. Nähme man eine weitere leichtere Kugel und ließe sie in Richtung der ersten Kugel rollen, nicht genau auf sie zu, sondern ein bisschen zur Seite hin, würde sie in den Bereich abgelenkt, wo das Gummituch verzogen ist, und in die Vertiefung gezogen. Wenn die Vertiefung groß genug ist, rollt sie in einer spiralförmigen Kurve hinab zur ersten Kugel. So versucht man in der Tat die Gravitation Einsteins zu erklären. Sie soll keine Kraft sein, sondern eine Folge der Gestalt des Raums selbst. Je mehr Masse ein Körper hat, desto tiefer wird nach Einsteins Gleichungen die Vertiefung, die er im Raum schafft. Und desto stärker wird die Gravitation, die er auf seine Umgebung ausübt. In Abwesenheit von Masse oder Energie ist der Raum flach. Die bloße Anwesenheit eines Körpers mit Masse veranlasst nun den Raum, mit einer Krümmung zu reagieren: mehr Masse, stärkere Krümmung; noch mehr Masse, ... „Schwarzes Loch“.

Einstein selbst dachte damals allerdings über einen Äther nach, den es zur Übertragung auch von seiner Gravitation geben müsste, ich zitiere: *Gemäß der Allgemeinen Relativitätstheorie ist ein Raum ohne Äther undenkbar; denn in einem solchen gäbe es nicht nur keine Fortpflanzung, sondern auch keine Existenzmöglichkeit von Maßstäben und Uhren, also keine räumlich-zeitlichen Entfernungen im Sinne der Physik.* Seine Definition des Äthers blieb zwar zeitlebens geradeso undeutlich, wie Newtons Beschreibung von Raum und Zeit. Die häufig wechselnden Ansichten Einsteins zum Äther sind es trotzdem wert beachtet zu werden. Denn Einsteins Konzeption des Äthers als kosmischer Raum ist einigen Physikern und Philosophen gar nicht bekannt. Man scheint vielmehr überzeugt, Einstein habe den Begriff des Äthers für immer aus der Physik verbannt. Dieses Vorurteil aber besteht zu unrecht, wie ich im folgenden kurz zeigen möchte:

Im Alter von 15 Jahren schrieb Einstein seinen ersten wissenschaftlichen Aufsatz „Über die Untersuchung des Ätherzustandes im magnetischen Felde“. Das war im Jahre 1894. Einstein glaubte an einen elastischen Äther. Im Jahre 1901 schlug er seinem Freund Grossmann eine Methode zur Untersuchung des Lichtäthers vor, obwohl er zwei Jahre zuvor seiner späteren Ehefrau Mileva Maric einen Brief geschrieben hatte, indem er Zweifel an der Existenz des Äthers äußerte. Im Jahre 1905, nachdem er die Spezielle Relativitätstheorie formuliert hatte, erklärte er den Äther für überflüssig und vertrat diese Meinung unter anderem in populären Artikeln der Vossischen Zeitung. Diese Ablehnung des Äthers blieb jedoch nur von 1905 bis 1916 bestehen, für einen Zeitraum von 11 Jahren also. Seine dann folgende Meinungsänderung wird auf einen Brief von Lorentz an Einstein zurückgeführt. Einstein schlug in seiner Antwort eine neue Äthertheorie vor, welche die Prinzipien der Relativitätstheorie verletzen würde. Diese Wende wurde jedoch nicht vor 1918 schriftlich dokumentiert, bis Einstein von Philipp Lenard darauf aufmerksam gemacht wurde, dass der Äther in der Allgemeinen Relativitätstheorie unter der Bezeichnung „Raum“ längst wieder durch die Hintertür in die Physik eingelassen worden sei. In seiner Antwort an Lenard präsentierte Einstein einen neuen relativistischen Äther als fundamentalen, metrischen Tensor. In der Folge, zwischen 1918 bis 1955, publizierte Einstein nicht weniger als 15 Arbeiten, in denen seine Vorstellungen der „Raum-Zeit“ als Modell des relativistischen Äthers bezeichnet wurden. Diese Arbeiten wurden von der Schulwissenschaft entweder entstellt verarbeitet oder zum Teil auch ganz übersehen.

Womit Einstein das wissenschaftliche Verständnis von Raum und Zeit ein zweites Mal völlig revolutionierte, gleichzeitig aber der Wissenschaft nun quasi einen Mechanismus anbot, durch den die Gravitation als Nahwirkung in die Ferne getragen werden sollte. Dazu war Newton wegen seiner bereits zitierten Einstellung gegenüber Hypothesen nicht bereit gewesen. Einstein hingegen soll einmal gesagt haben: *Phantasie ist wichtiger als Wissen.*

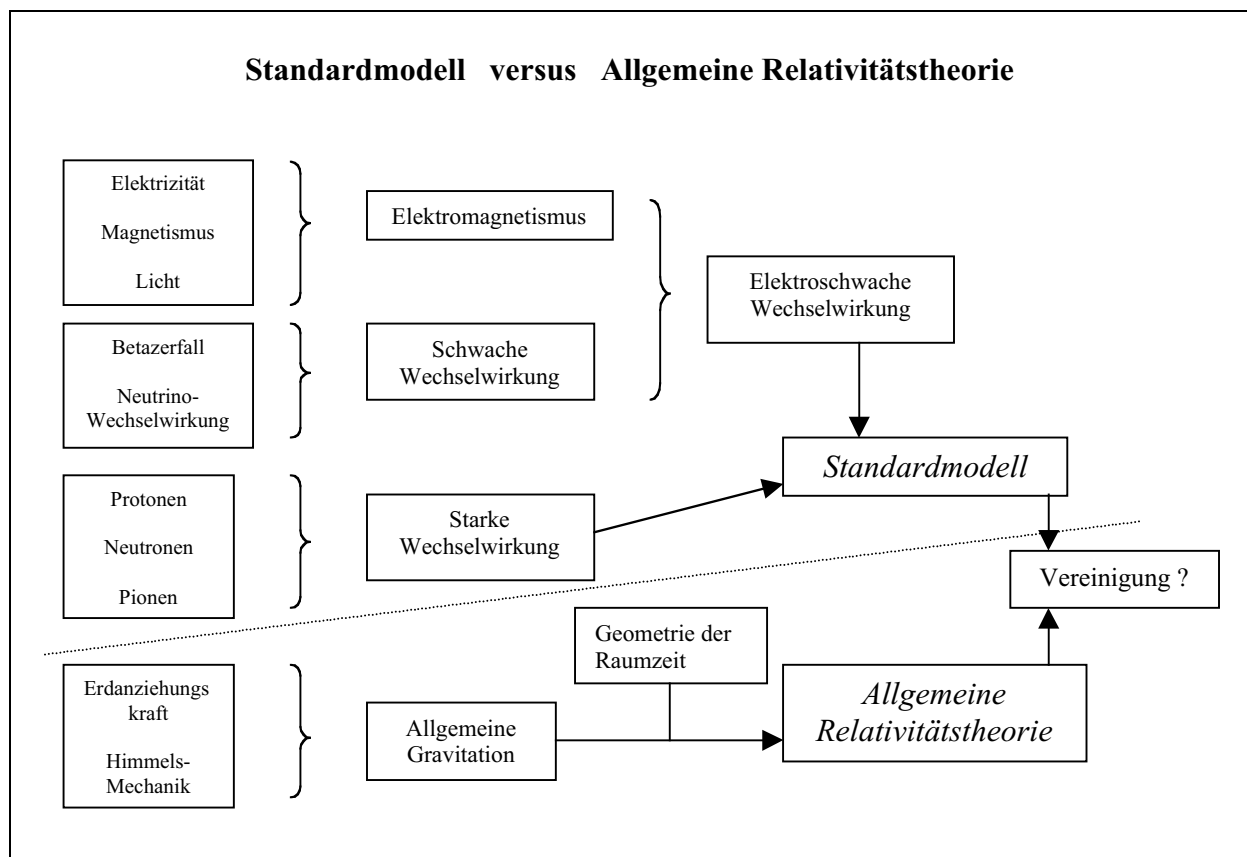
Wir wären jetzt eigentlich am Ende der kurzen Geschichte der Gravitation. Fassen wir einmal grob zusammen: Die klassische Fernwirkungstheorie, die auf Newton zurückgeht, gefolgt von der relativistischen Feld- bzw. Nahwirkungstheorie Einsteins, ... und heute? Zur Zeit wird versucht, eine Quantenfeldtheorie der Gravitation zu entwickeln. Man möchte den Makrokosmos Einsteins und den Mikrokosmos Plancks miteinander in Einklang bringen. Das Quantenfeld bzw. das diesem quasi unterliegende physikalische Vakuum, sie weisen allerdings große Ähnlichkeit mit dem Äther der klassischen Physik auf. Was sollte eine Theorie der Quantengravitation also Neues leisten können – „praktisch“ ohne Äther? Springen wir also noch einmal zurück in der Zeit! Vielleicht habe ich ja in der parallel sich entwickelten physikalischen Welt der Atome und des elektromagnetischen Feldes etwas übersehen.

Im frühen 18. Jahrhundert noch war die Gravitation die einzige von den Physikern als solche erkannte „Kraft“ gewesen. Doch bald schon war deutlich geworden, dass man die Phänomene im atomaren Bereich nicht mit der Schwerkraft erklären konnte. Der Atombegriff war heftig umstritten, doch die Wissenschaftler waren überzeugt, dass die verschiedenen Eigenschaften von Materialien durch unterschiedliche Gefüge verschiedener Atomtypen verursacht waren. Ein Problem war, dass niemand zu erklären vermochte, wie es zu diesen Atomtypen kommen sollte, das heißt, welche Kraft für die Ordnung der Atome verantwortlich sein könnte. Die Schwerkraft bot keine befriedigende Antwort, sollte sie doch die Materie zu kugelförmigen Klumpen zusammenziehen – Sterne und Planeten waren als mehr oder weniger kugelförmig erkannt. Nach und nach meinten zudem die Wissenschaftler, auch Licht werde durch eine besondere Kraft verursacht.

Zu Michael Faradays Zeit galten schließlich drei Kräfte als anerkannt: Gravitation, elektrische Kraft und magnetische Kraft. Faraday war überzeugt von deren innerem Zusammenhang und suchte nach einer Verbindung. Am Ende konnte er nicht nur zeigen, dass elektrische und magnetische Kraft miteinander verknüpft sind, sondern auch, dass sie dem Licht zugrunde liegen. Faraday wies nach, dass Elektrizität, Magnetismus und Materie durch unsichtbare Wirkungen auf vielfältige Weise miteinander verknüpft sind. Und er schuf mit dem später sogenannten Konzept der „Kraftfelder“ die Voraussetzungen für einen formellen Begriff dieser Wirkungen. James Clerk Maxwell bestätigte schließlich Faradays Gedanken und zeigte, dass elektrische und magnetische Kraft und das Licht Erscheinungsformen einer umfassenden elektromagnetischen Kraft sind.

Einstein versuchte entsprechend, wie natürlich auch andere Physiker seiner Zeit, die Gravitation und die elektromagnetische Kraft unter ein theoretisches Dach zu bringen. Dies ist aber bis heute niemandem gelungen. Statt dessen entdeckten die Physiker weitere, bislang hypothetische „Kräfte“, auf die sie sich in der Folge konzentrierten: die sogenannte Starke und Schwache Kernkraft.

Folie 9:



Die erste der beiden Kernkräfte, die sich den Physikern bot, war die „Starke“. Experimente hatten ergeben, dass der Atomkern nicht ein harter Klumpen war, sondern vermutlich ein Gefüge verschiedener Teilchen: positiv geladene Protonen und Neutronen (letztere ohne erkennbare Ladung). Das warf Probleme auf, denn ihrer Natur nach stoßen sich Teilchen mit

gleicher Ladung bekanntermaßen ab. Was für Magnete gilt, gilt insoweit auch für elektrische Ladungen. Warum aber flogen dann die Kerne nicht auseinander? Hideki Yukawa schlug vor, dass innerhalb des Kerns eine Starke Kraft die elektrische Abstoßung zwischen den Protonen ausgleicht und sie aneinander bindet. Gewisse Teilchen, darunter das Neutron, erwiesen sich bald darauf als instabil, was die Ursache der Radioaktivität von Elementen wie dem Uran bilden sollte. Die Physiker erkannten, dass man die Instabilität wiederum nicht mit Hilfe der Starken Kraft erklären konnte und postulierten die Existenz einer weiteren, nun als „Schwach“ bezeichneten Kernkraft.

Und seit die Physiker mit ihren insbesondere aus finanziellen Gründen äußerst umstrittenen „Teilchenbeschleunigern“ im Inneren der Materie herumstoßen, haben sie darüber hinaus angeblich auch noch eine unglaubliche Vielzahl von realen Teilchen, mehrere hundert, auf der subatomaren Ebene entdeckt. Teilchen und Kräfte treten theoretisch in Wechselwirkung, wobei die Teilchen quasi die Objekte sind, auf welche die Kraftteilchen einwirken sollen. So werden sie jedenfalls von den Teilchenphysikern unter den Vertretern der modernen Quantentheorie aufgefasst, die dabei Kräfte tatsächlich selbst als „krafttragende“ Teilchen ansehen. Photonen werden zum Beispiel die hypothetischen Teilchen der elektromagnetischen Kraft genannt, die gelegentlich als Welle in Erscheinung tritt; Gravitonen heißen hingegen die unterstellten krafttragenden Teilchen der Gravitation, die so gar nicht erscheinen wollen.

Wie Maxwell gezeigt hatte, dass elektrische und magnetische Kraft als verschiedene Aspekte einer umfassenden elektromagnetischen Kraft begriffen werden konnten, so zeigten vor wenigen Jahrzehnten Steven Weinberg, Abdus Salam und Sheldon Glashow mathematisch, dass die elektromagnetische und die Schwache Kernkraft als verschiedene Aspekte einer umfassenden elektroschwachen Kraft aufgefasst werden könnten. Dieser Erfolg spornte wohl an und führte zu den „großen vereinheitlichten Theorien“ (GUT), die die Starke Kraft mit einbinden. Momentan gibt es viele dieser Theorien; alle „bewiesen“ mit Hilfe einer außerordentlich kompliziert erscheinenden Mathematik, weshalb die Physiker sich vermutlich nicht einig werden können, welcher sie den Vorrang einräumen sollen. Während die einen Physiker darüber noch nachdenken, beschäftigen sich bereits andere mit der mathematischen Vereinigung aller bislang als solche anerkannten Kräfte, das heißt unter Einbindung der Gravitation in das dem Theoriengebäude zu Grunde liegende „Vier-Kräfte-Gefüge“.

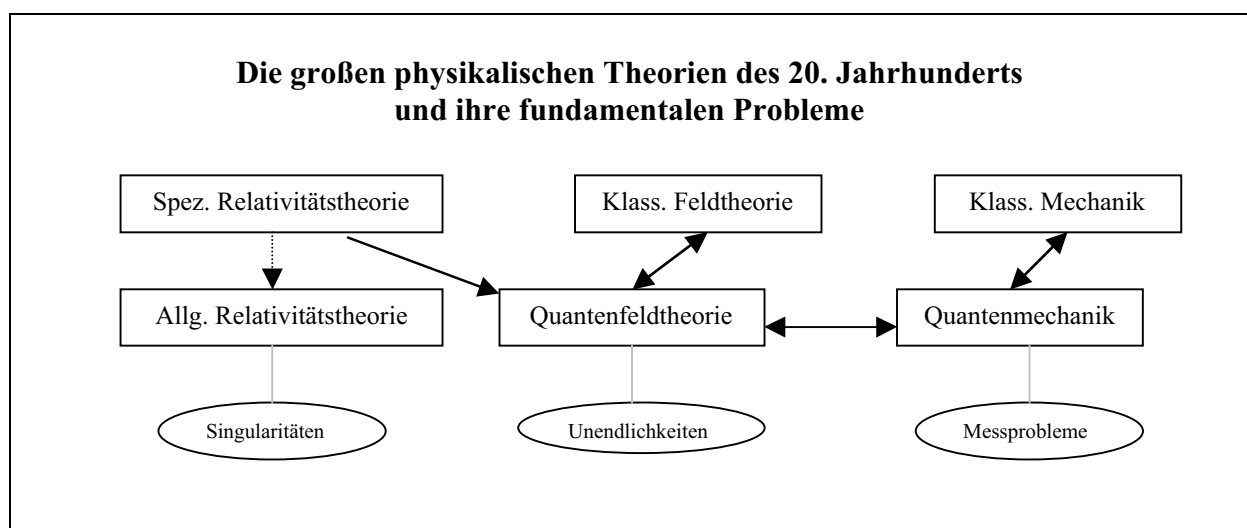
Als Spitzenkandidaten dafür gelten zur Zeit verschiedene Stringtheorien, von denen sich jede als die Theorie von Allem („TOE“ oder „Theory of Everything“) versteht:

Als vor etwa dreißig Jahren einige Physiker die Quantenfeldtheorie so zu modifizieren versuchten, dass sie die Starke Kraft zwischen Protonen und Neutronen zu erklären vermochte, bemerkten sie, dass eine veränderte mathematische Gleichung die Elementarteilchen wegen der quantenmechanischen Welle-Teilchen-Dualität auf verschiedene Formen von Wellen bzw. Schwingungen sehr kleiner „Fäden“ (englisch: strings) zurückführte. Diese Strings, die sowohl gestreckt (lineare Schwingung) als auch ringförmig (zyklische Schwingung) sein können, sollten zunächst noch in einem Raum von 25 Dimensionen schwingen. Tatsächlich entdeckten die Physiker, dass im Rahmen ihrer Theorie der Wellen oder Schwingungen die Unvereinbarkeit zwischen Relativitätstheorie und Quantenmechanik verschwinden würde, die Gravitation sich in ein Kräftegefüge mit den übrigen einbinden lassen würde. Anfangs blieben aber einige ihrer Vorhersagen unakzeptabel. Mit der Entwicklung der „Superstringtheorie“ auf der Basis einer „Supersymmetrie“ konnten zwar einige Unzulänglichkeiten behoben und die Anzahl der Raumdimensionen immerhin auf neun reduziert werden. Heute gibt es allerdings fünf Superstringtheorien und die Supersymmetrie der Elementarteilchen ist bislang nicht festzustellen gewesen.

Die erfolgreiche Theorie von Allem, wie sie genannt wird und wie auch immer sie aussehen mag, soll den Erwartungen zufolge eine letztgültige mathematische Beschreibung der Wirklichkeit darstellen. Das Theoriegebäude soll nicht nur alle Kräfte und Teilchen in sich vereinen, sondern auch Raum und Zeit. Wollte man die Allgemeine Relativitätstheorie also weiterhin gelten lassen, dann müsste man, wie im Falle der Gravitation in der Allgemeinen Relativitätstheorie, auch die übrigen drei Kräfte als Erscheinungsformen einer der Gravitation zugrundeliegenden anerkannten „Geometrie der Raumzeit“ darstellen können. Sämtliche Elementarteilchen müssten als mikroskopisch feine Vibrationen in diesem Feld begriffen werden. Wie Einstein es sich vorgestellt hatte, wäre dann alles als Wirkung der universellen Struktur der Raumzeit (Membranen) zu erklären, die ein Kontinuum bildet, aber zugleich Quantenform besitzen müsste, also die Struktur eines Äthers, wie ihn Einstein letztlich zu formulieren versuchte. Die Suche nach einem mathematischen Konzept einer Einbindung aller Quantenfeld- wie auch relativistischer Aspekte, ist aber bislang ohne Erfolg geblieben.

Nun sind wir ein weiteres Mal am „Ende“ der wahrhaft kurzen Historie der Allgemeinen Gravitation angelangt.

Folie 10:



Die Newtonsche wie die Einsteinsche Gravitationstheorie beschreiben also im Ergebnis lediglich Phänomene. Einstein gab darüber hinaus einen Mechanismus an, erklärte aber auch damit nicht die Ursache der Gravitation. Das versäumten beide.

Ein anderer Mechanismus, ebenso wenig eine Erklärung, wird heute von verschiedenen „Quantenphysikern“ auf mathematischem Wege in der „Quantisierung des Gravitationsfelds“ gesucht. Zugleich fahnden Teilchenphysiker nach masselosen Feldteilchen wie den Photonen, die erwartungsgemäß eine unendliche Reichweite haben und sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Weil die Reichweite der Gravitation unbegrenzt sein soll, sollen die ihr zugeordneten Feldteilchen, die sogenannten Gravitonen, ebenfalls ohne Masse sein. Ihr Austausch zwischen allen schweren Teilchen im Universum, denen mit viel Masse, soll das gravitative Kraftfeld bewirken. Im Vergleich zu den Feldern der anderen Kräfte wäre es extrem schwach.

Auf der Erde konnten wir dementsprechend bislang nur das jeweilige relative Gewicht beweglicher Dinge feststellen, deren Schwere bzw. Trägheit im Verhältnis zueinander sowie zu jeder anderen zuvor willkürlich festgelegten Größe oder Einheit. Die außerordentlich kleinen Wirkungen der Gravitation entziehen sich jeglicher Feststellung durch Messungen. Weshalb in Versuchen zur Berechnung der Gravitation mit Hilfe einer „Massenwaage“ wohl andere, z.B. diamagnetische Wirkungen der Probekörper in Verbindung mit der jeweiligen Messapparatur und dem Erdmagnetfeld den Ausschlag geben. Was ich - wie andere Kritiker zuvor - bei Versuchen mit unterschiedlichen Materialien selber habe beobachten können. Sie erinnern sich vielleicht noch an mein Anfangszitat von Feynman zur Gravitationsmessung.

Und die Erd- oder die Planetenmassen sind ohnehin nicht messbar, was sich zwar jeder selbst klar machen könnte. Das Gegenteil wird uns aber ständig dadurch suggeriert, dass beinahe jedes Ding in dieser Welt, sogar Sterne, in irgendeiner Weise eine Masse zugeordnet bekommen haben. Sämtliche Massen im Universum wurden aber lediglich „gesetzzestreu“ berechnet. Bislang wurden weder ein Kraftmedium, das sogenannte Graviton, noch sonst irgend ein Gravitationsfeld entdeckt. Die Entstehung von Gravitation oder Schwerkraft gilt selbst unter den Experten noch immer nicht als widerspruchsfrei erklärt.

Die Frage nach der Existenz einer Allgemeinen Gravitation bzw. Massenanziehungskraft scheint mir nach all dem berechtigt. Die Frage bleibt also bestehen, ob wir Schwere und Himmelsmechanik tatsächlich als identische Phänomene betrachten müssen. Das sollte uns bei all unseren weiteren Forschungen bewusst sein.

Ich danke Ihnen für Ihre Geduld.