

Bekanntes, entdeckt werden. Erst als ich mich mit 25 Jahren nicht mehr von meiner bisherigen Auffassung vom Christentum als einer wertebasierten, einengenden Religion bestimmen ließ, war mir der Blick auf die eigentliche Bedeutung des Christseins möglich.

Erst als Naturwissenschaftler und Mathematiker wie Kopernikus, Kepler und Galilei die damals vorherrschende, im Wesentlichen von Ptolemäus geprägte Auffassung von einem geozentrischen Universum infrage stellten, konnten sie den Schritt zu einem heliozentrischen Weltbild vollziehen.

Ptolemäus beschrieb im 2. Jahrhundert n. Chr. eine Kosmologie, nach der die Erde Mittelpunkt des Weltalls war und von Himmelskörpern umkreist wurde. Allerdings gab es deutliche Diskrepanzen zu Beobachtungen, die mit diesem Modell nicht zu erklären waren. Im Jahre 1543 schlug Nikolaus Kopernikus in dem Buch *De revolutionibus orbium coelestium* ein wesentlich einfacheres Weltbild vor, das diese Probleme in einer ersten Näherung löste. Demnach bewegten sich die Planeten auf Kreisbahnen um einen Punkt, der nahe der Sonne lag und auch von dieser umkreist wurde. Diese Abkehr vom ptolemäischen Weltbild wurde durch die Beobachtungen des Astronomen Tycho Brahe unterstützt, dessen großes Datenmaterial seinem Assistenten Johannes Kepler später ermöglichte, das kopernikanische Modell durch die Annahme zu verfeinern, dass erstens die Planeten die Sonne selbst umrunden, und dass zweitens dies auf Ellipsen statt auf Kreisbahnen geschieht! Diese Erkenntnis wurde durch die Entdeckung der Jupitermonde durch Galileo Galilei unterstützt: Das waren Himmelskörper, deren Bewegungsmittelpunkt auch nicht die Erde war, sondern der Jupiter. Wie sehr vorgefasste Meinungen den Schritt zu neuen Erkenntnissen dann aber immer noch behindern können, zeigt sich daran, dass Galilei seine heliozentrischen Ansichten später widerrufen musste und zu lebenslangem Hausarrest verurteilt wurde.

Schließlich setzte sich jedoch der Ausbruch aus den als sicher geglaubten Erkenntnissen zur unvoreingenommenen Kenntnisnahme der empirischen Daten durch und fand damals seinen krönenden Abschluss in den genialen Arbeiten von Isaac Newton. Damit war der Startpunkt für eine Entwicklung gesetzt, an deren Ende die noch genialere Arbeit Albert Einsteins stehen sollte, die letztlich zu der bahnbrechenden Erkenntnis führte, dass das Universum doch einen Anfang hat.

Auch ein Laie kann diese faszinierende Entwicklung in etwa nachvollziehen, und deshalb soll im Folgenden der Versuch unternommen werden, die entsprechenden Gedankengänge kurz nachzuzeichnen, auch wenn dabei einige simple Formeln vorkommen.

Etwa vor 300 Jahren fand Newton heraus – was eigentlich jedem sofort einleuchtet –, dass sich ein Körper unter der Einwirkung einer Kraft beschleunigt in Bewegung setzt. Ferner fand er heraus, dass jeder Körper träge ist. Er beschleunigt umso langsamer, je größer seine Masse ist. Diese Masse nennt man deswegen auch »träge Masse«, hier abgekürzt mit m . Diese Erkenntnisse fasste er nun in seinem berühmten Bewegungsgesetz zusammen:

Kraft = $M_t \times$ Beschleunigung.

Damit konnte Newton tatsächlich die ungeheure Vielfalt sämtlicher vorkommender mechanischer Abläufe beschreiben.

Hinzu kam seine Formulierung des Gravitationsgesetzes. Dahinter steht die Idee, dass ein materieller Körper, wie etwa die Erde, ein Kraftfeld um sich herum aufbaut, das auf ein anderes Objekt eine Anziehungskraft ausübt und es damit »schwer« erscheinen lässt bzw. ihm ein Gewicht verleiht, wie zum Beispiel einem Apfel, der an einem Apfelbaum hängt. Die Größe dieser Kraft ist proportional zur Masse dieses Objektes. Das muss zunächst aber nicht die genannte träge Masse sein, und man nennt sie deswegen vorsichtshalber »schwere Masse«, hier abgekürzt mit M_s . Zur Berechnung der Anziehungskraft eines materiellen Körpers auf ein anderes Objekt werden noch weitere Faktoren benötigt, die mit dem materiellen Körper zusammenhängen, der die Anziehungskraft ausübt, und hier der Einfachheit halber nicht weiter dargestellt werden. So kann man die Gravitationskraft, die auf das Objekt mit der schweren Masse M_s einwirkt, beschreiben als

Gravitationskraft = $M_s \times$ weitere Faktoren.

Der bahnbrechende Gedankenblitz Newtons bestand nun darin, dass er erkannte, dass dieses Gesetz nicht nur auf der Erde gilt und nicht etwa nur den Fall eines Apfels vom Baum bestimmt, sondern universelle Gültigkeit besitzt – also auch zum Beispiel für die Bahn der Planeten um die Sonne.

Indem er diese Gravitationskraft in seine Bewegungsgleichung einsetzte, folgte etwa für die Bewegungsgleichung der Erde um die Sonne (wobei die Sonne infolge ihrer großen Masse in dieser Gleichung als ruhend angenommen wird):

$M_s \times$ weitere Faktoren = $M_t \times$ Beschleunigung.

Damit lieferte er die endgültige Bestätigung der Korrektheit des heliozentrischen Weltbildes, denn mit dieser Formel konnte er die Bewegung aller Planeten mit großer Genauigkeit berechnen.

Von Newton zu Einstein

Diese Gleichung wurde für alle Physiker zu einer Selbstverständlichkeit. Nach einer ersten Zeit der Gewöhnung fand daran niemand mehr etwas Besonderes – bis 200 Jahre später einem jungen Physiker namens Albert Einstein etwas Merkwürdiges auffiel, was alle anderen bislang übersehen hatten.

Die nun folgende Betrachtung ist stark vereinfacht und entspricht nicht ganz seinem Gedankengang, spiegelt aber das Wesentliche wider: Sämtliche Messungen hatten nämlich gezeigt, dass träge und schwere Masse eines Körpers einander proportional sind und man sie einander gleichsetzen kann. Somit können beide Massen aus der obigen Gleichung herausgekürzt werden. Das heißt, die Beschleunigung, die etwa die Erde im Gravitationsfeld der Sonne erfährt, hängt gar nicht von ihrer eigenen Masse ab, denn ihre Masse erscheint gar nicht mehr in der Gleichung! Wäre die Masse der Erde etwas größer oder kleiner, würde die Erde immer noch die gleiche Bahn um die Sonne verfolgen! Irgendwie scheint ihre Bahn im Raum schon vorgezeichnet zu sein. Das hieße, dass ihre Bahn gar nicht von ihrer Eigenschaft, ihrer Masse, abhängt, sondern eine Eigenschaft des Raumes wäre!

Und genau das führte zu der so genialen wie verwegenen Idee Einsteins: Nicht ein Gravitationsfeld bestimmt die Bewegung der Planeten, sondern die Geometrie des Raumes! Die Sonne krümmt den Raum derart, dass die Erde in diesem gekrümmten Raum einer gekrümmten, ellipsenförmigen Bahn um die Sonne folgen muss. Und diese Wirkung der Sonne auf den sie umgebenden Raum gilt für alle Massen, nicht nur für die Erde. Die gedankliche Revolution war vollzogen: Massen erzeugen kein Gravitationsfeld um sich herum, sondern sie krümmen den Raum! Je größer die Massen, desto stärker die Krümmung.

Das war dieser entscheidende Schritt heraus aus einem festgefügtten Vorverständnis von der Natur, der eingangs erwähnt wurde! Bislang hatte man es als selbstverständlich angesehen, dass der Raum nur ein unveränderlicher Rahmen sei, in dem man die Bewegungen von Planeten und allen anderen Objekten beschreiben kann. Nun nahm der Raum selbst an dem Geschehen teil und bestimmte es! Und umgekehrt wurde er von dem Geschehen selbst wieder beeinflusst, indem er von den Massen in seiner Krümmung bestimmt wurde.

Das war einer der folgenschwersten Umbrüche in der Geschichte der Physik, der unser ganzes Verständnis vom Universum revolutionieren sollte. Allerdings musste nun erst noch der Gewaltakt vollzogen werden, die Gleichungen zu finden, die die Krümmung des Raumes durch Massen korrekt beschreiben würden. Neben der bahnbrechenden Idee, dass Massen den Raum krümmen, war die Erarbeitung dieser Gleichungen die zweite Meisterleistung Einsteins, wobei ihm dabei allerdings ein guter Freund, der Züricher Mathematikprofessor Marcel Grossmann, helfen musste, um ihn in die erforderliche Mathematik gekrümmter Räume einzuführen, die glücklicherweise einige Jahrzehnte zuvor gerade entwickelt worden war.

1915 war es dann so weit, und Einstein konnte der verblüfften Fachwelt sein äußerst elegantes Gleichungssystem, die sogenannten Feldgleichungen der *Allgemeinen Relativitätstheorie*, vorstellen. Sie bestehen aus einem Satz von sogenannten partiellen Differenzialgleichungen, in denen die Größen, die die Krümmung des Raumes beschreiben, mit den Größen verknüpft werden, die die Materie beschreiben.

Sofort machte man sich an die Arbeit, diese neue Theorie durch Überprüfung der durch sie vorhergesagten Naturphänomene zu verifizieren. Als Erstes konnten die Physiker nachweisen, dass ein gewisses Verhalten des Planeten Merkur, das mit der Newton'schen Theorie nicht erklärt werden konnte, nun korrekt beschrieben wurde. Als Nächstes überprüfte man die verblüffende Folgerung aus dieser neuen Theorie, dass große Massen Lichtstrahlen verbiegen würden. Dies geschah 1919 anlässlich einer Sonnenfinsternis, die es erlaubte, die Positionen von Sternen, wie sie von der Erde aus in der unmittelbaren Umgebung der Sonne gesehen werden, infolge der Abdunkelung durch den Mond noch zu sehen und zu überprüfen. Und in der Tat: Als die vom Mond abgedunkelte Sonne in die Bahn der von einigen Sternen ausgehenden Lichtstrahlen vorrückte, erschienen die Sterne von ihren ursprünglichen Positionen am Himmel versetzt, und zwar exakt um den von Einstein vorausgerechneten Betrag!

Inzwischen ist diese Theorie auch durch viele andere Messungen sehr gut bestätigt – so zum Beispiel auch die erstaunliche Vorhersage, dass Uhren in der Nähe großer Massen langsamer gehen als in größerer Entfernung. Dies hängt damit zusammen, dass die Feldgleichungen neben den drei Raumkoordinaten auch die Zeit enthalten und dass Massen nicht nur den Raum verkrümmen, sondern auch die Zeit. So erstaunlich dieser Befund ist – ohne eine entsprechende Korrektur im Gang der Uhren, die entscheidend in die Positionsbestimmung eingeht, würde heute kein Navigationssystem in den Autos auf unseren Straßen funktionieren. Die Zeit an Bord der Navigationssatelliten, die in ca. 2 000 Kilometern Höhe die Erde umkreisen, verstreicht tatsächlich schneller als in den Autos auf der Erde, weil in dieser Höhe die Erdanziehung schwächer ist als auf dem Boden! Der Vollständigkeit halber sei noch hinzugefügt, dass aufgrund der Speziellen Relativitätstheorie Einsteins die Zeit auf den Satelliten infolge ihrer hohen Bahngeschwindigkeit andererseits wiederum etwas langsamer vergeht. Ohne die Berücksichtigung beider Effekte in der Berechnung in unseren Navigationssystemen läge die Positionsbestimmung um viele Meter daneben!

Die Entdeckung des Anfangs

Da die Einstein'schen Feldgleichungen den Einfluss von Massen auf Raum und Zeit beschreiben und das Weltall ein Raum-Zeit-Kontinuum ist, war es naheliegend, nach Lösungen der Einstein'schen Feldgleichungen zu suchen, die das gesamte Weltall beschreiben. Dabei stellte sich heraus, dass es Lösungen gibt, die von der Zeit abhängen – bei denen sich also das Weltall zeitlich verändert. Zu ihrem Erstaunen fanden die Physiker Lösungen, bei denen sich das Weltall immer weiter ausdehnt – wie bei der Oberfläche eines Luftballons, den man aufbläst. Auch hier dehnt sich der Raum – betrachtet man als »Raum« einmal nur die zweidimensionale Oberfläche des Luftballons – immer weiter aus. Das wirkt sich dahingehend aus, dass sich Punkte auf

dieser Oberfläche, die man dort zum Beispiel mit einem schwarzen Filzstift angebracht hat, immer weiter voneinander entfernen. Eine Laus, die auf einem beliebigen dieser Punkte sitzt, würde sehen, wie sich von ihr aus alle Punkte entfernen, und zwar umso schneller, je weiter die Punkte von ihrer Position entfernt sind – und dies unabhängig davon, auf welchem Punkt sie selber sitzen würde.

In Analogie dazu besagen solche zeitabhängigen Lösungen der Einstein'schen Feldgleichungen, dass sich die Galaxien in dem sich ausdehnenden Weltall von jeder beliebigen Position und damit auch von uns aus gesehen immer weiter entfernen, und zwar umso schneller, je weiter sie von uns entfernt sind. Die Galaxien schwimmen sozusagen in dem sich überall ausdehnenden Raum mit und entfernen sich dabei voneinander.

Nun bleibt es uns unbenommen, diese Lösungen rechnerisch in der Zeit zurückzuspulen und das Weltall in dieser Simulation schrumpfen statt sich ausdehnen zu lassen. Dabei ist die zeitliche Entwicklung des sogenannten metrischen Tensors von besonderem Interesse – eine Zahlentabelle, mit der die Geometrie des Raumes beschrieben wird. Und zu ihrem Erstaunen entdeckten die Physiker, dass das Weltall dann auf einen Punkt schrumpft. Die Physiker sprechen von einer Singularität dieses metrischen Tensors. Dort haben Raum und Zeit mathematisch gesehen keine Bedeutung mehr. Diese Singularität stellt gewissermaßen eine zeitlich rückwärtige Berandung oder Begrenzung für Raum und Zeit dar. Mathematisch gesehen gibt es »davor« keinen Raum und keine Zeit!

Wenn man nun die Zeit wieder nach vorn laufen lässt, kommt man zu dem Schluss, dass Raum und Zeit sozusagen aus dieser Singularität, diesem *status nascendi* heraus ihren Anfang nahmen. Und da die uns bekannte Materie nur in einem dreidimensionalen Raum existiert, gilt dieser Anfang auch für die gesamte Materie des Weltalls sowie für die ungeheure Energie, die erforderlich ist, um das Weltall von diesem Anfangspunkt aus zu der Größe auszudehnen, die es heute hat. Ein »Vorher« gibt es also auch für die Materie und Energie und die sie beschreibenden Naturgesetze nicht. Erst ab diesem Start der Zeit hat die Physik überhaupt eine Bedeutung und erlaubt, die weitere Entwicklung des Weltalls im Rahmen ihrer Möglichkeiten zu beschreiben. In diesem Sinne besagt das heutige kosmologische Weltmodell also, dass es für alles einen Anfang gab! Raum, Zeit, Materie und Energie sind erst vor endlicher Zeit entstanden.

Plötzlich stand die Naturwissenschaft nicht mehr im Widerspruch zum ersten Satz in der Bibel, in dem es heißt, dass es einen Anfang gab. Es geht dabei nicht um die Frage, ob dieser Anfang exakt der naturwissenschaftlichen Vorstellung von diesem Anfang entspricht, sondern um die Feststellung, dass der Widerspruch hinsichtlich der Frage ausgeräumt ist, ob es überhaupt einen Anfang des Universums gab oder nicht. In diesem Sinne kann man sagen, dass die moderne Physik die Bibel bestätigt! Aber ist es nicht vielleicht eher umgekehrt so, dass die Bibel den Physikern die Korrektheit ihres neuen Weltbildes bestätigt?