

# Zur Entwicklung des Zeitbegriffs: Aristoteles und der Zeitbegriff in der relativistischen Kosmologie

PETER C. AICHELBURG, WIEN

Was also ist die Zeit, fragt Augustinus im 4. Jahrhundert und gibt sich selbst die berühmt gewordene Antwort [1]:

Wenn mich niemand danach fragt, weiß ich's; will ich's aber einem Fragendem erklären, weiß ich's nicht.

Im Folgenden soll exemplarisch aufzeigen werden, wie sich der Zeitbegriff von der Antike her über einem Zeitraum von zwei Jahrtausenden entwickelt hat. Von den griechischen Philosophen ausgehend verschiebt sich mit der Entstehung der Einzelwissenschaften die Thematik von der Philosophie mehr und mehr zu den Naturwissenschaften. Dabei kommt der Physik als Grundwissenschaft für die anderen Naturwissenschaften eine besondere Rolle zu. Innerhalb der Physik hat wiederum die Einsteinsche Relativitätstheorie den Zeitbegriff der modernen Physik am nachhaltigsten geprägt. In welchem logischen Zusammenhang steht der moderne naturwissenschaftliche Zeitbegriff mit jenem der Antike? Ziel dieses Beitrags ist es aufzeigen, dass der Zeitbegriff, wie ihn Aristoteles verstanden hat, in der relativistischen Kosmologie durchaus sein Analogon findet.

## Aristoteles und die Zeit

Es geht Aristoteles um drei Grundprobleme zum Wesen der Zeit. Diese sind:

- i) Die Existenz der Zeit; was für ein Dasein kommt ihr zu?
- ii) Zeit und Bewegung bzw. Wandlung
- iii) Das Problem der Stetigkeit

In seinen Lehrschriften schreibt er zur Existenz der Zeit [2]:

Dass die Zeit entweder überhaupt kein Dasein hat oder doch nur kaum verschwommen, kann man aus folgendem vermuten: Ihr einer Teil ist vergangen und jetzt nicht mehr, der andere soll erst kommen und ist noch nicht. Aus diesen beiden aber besteht die unendliche Zeit.... Was aber Teile hat, die nicht da sind, das kann, so scheint es, unmöglich am Dasein Anteil haben.

Um dieses, was „unmöglich am Dasein Anteil haben“ kann, besser zu verstehen, setzt sich Aristoteles sodann mit dem Begriff des Jetzt ausführlich auseinander. Er bemerkt zunächst, dass das Jetzt kein Teil ist, aus dem sich die Zeit zusammensetzt; vielmehr:

Zeit ist was wir durch das Jetzt abgrenzen,

und er verwendet die Analogie von Punkt und Strecke: Der Punkt ist nicht ein Teil der Strecke, denn er ist ohne Ausdehnung, die Strecke lässt sich nicht daraus zusammensetzen. Punkte auf einer Strecke sind immer andere, ein Punkt als Eigenschaft der Grenze immer derselbe.

Als nächstes bringt Aristoteles Zeit in Zusammenhang mit Bewegung und versucht herauszufinden, was an der Bewegung die Zeit ist. Er fasst Zeit als Wandlung der Dinge auf; aber die Wandlung selbst ist nicht die Zeit:

dass die Zeit weder Bewegung ist noch ohne Bewegung

oder genauer:

die Zeit ist also nicht Bewegung sondern das Abzählbare an ihr.

Damit erhebt sich die Frage nach dem Maß der Zeit d.h. der Zuordnung: Zeit – Zahl.

Als Anzahl ist die kleinste eine oder zwei Zeitspannen, als Größe gibt es keine kleinste Zeit. Man erkennt auch, dass Zeit nicht schnell oder langsam genannt werden kann, sondern nur viel und wenig, lang oder kurz. Sofern sie eine stetige Größe ist, lang oder kurz, sofern sie eine Zahl ist, viel und wenig.

Aristoteles schneidet damit das Problem des Diskreten versus dem Kontinuierlichem an, das anhand der Zenonschen Paradoxien immer wieder diskutiert wurde. Das Problem, dass Achill die Schildkröte nicht überholen könne, weil immer dann, wenn er zu dem Ort gelangt, wo die Schildkröte war, diese schon ein Stück weiter ist, wurde eigentlich erst durch die Mathematiker Bolzano und Cantor im 19. Jahrhundert gelöst. Abgesehen von der angesprochenen Zuordnung einer Zahl besteht die Frage, woran man die Zeit misst. Zur Zeitmessung bemerkt Aristoteles:

Wir messen aber nicht nur Bewegung durch die Zeit sondern auch Zeit durch die Bewegung.

Und ist sich der Problematik dieses Zirkelschlusses wohl bewusst:

Man könnte streiten, welcher Bewegung Zahl die Zeit sei. Etwa einer beliebigen?

Man vergleiche den Fall, dass zwei Bewegungen gleichzeitig stattfinden, von denen jede „ihre Zahl hat“. Hierzu bemerkt er:

... und es verliefen somit zwei Zeiten nebeneinander. Oder doch nicht?“

Seine Antwort lautet:

Wenn wir Hunde und Pferde vor uns haben, je sieben, dann ist das dieselbe Zahl. So ist es auch bei gleichzeitig ablaufenden Bewegungen dieselbe Zeit, nur ist vielleicht die eine Bewegung schnell, die andere langsam ... aber die Zeit ist dieselbe, wenn die Zahl für ihre Dauer gleich ist.

Aber woher bekommen wir die „Zahl für die Dauer“? Der entscheidende Gedanke ist, dass Aristoteles eine spezielle Bewegung auszeichnet, nämlich die Kreisbewegung:

Da es eine Ortsveränderung gibt, unter diesen wieder die Kreisbewegung, so wird alles durch etwas gleichnamiges gezählt ... Zeit durch einen bestimmten Zeitabschnitt.

und weiter

Gemessen wird die *Zeit* durch die Bewegung und diese durch die *Zeit*. Dies ist möglich, weil von einer begrenzten Bewegung ausgehend durch deren *Zeit* zugleich die Größe der Bewegung und die der *Zeit* gemessen wird.

Was aber ist diese „begrenzte Bewegung“? Seine Antwort lautet:

Das ist der Grund, warum die *Zeit* die Bewegung der Himmelskugel zu sein scheint, weil durch diese alle anderen Bewegungen gemessen werden und durch sie die *Zeit*.

Aristoteles führte 55 Sphären ein, um die Bewegung der Gestirne zu erklären.

Für ihn ist durch die Bewegung der Himmelsphären die *Zeit* bestimmt. Er meint damit vor allem die (scheinbare) Bewegung der Fixsterne. Ohne diese Bewegung kein *Zeitmaß* und auch keine *Zeit*. Verallgemeinert könnte man sagen, die Bewegung der Körper im Weltall bestimmt die *Zeit*.

Bevor ich diese Aussage mit dem modernen *Zeitbegriff* kontrastiere, sei kurz an einige in diesem Zusammenhang wichtige Stationen in der Entwicklung des *Zeitbegriffs* erinnert.

## Das Maß der *Zeit* bei Augustinus

Der schon eingangs erwähnte Augustinus knüpft zunächst gedanklich an Aristoteles an indem er sich mit der sonderbaren Existenz der *Zeit* und deren Wahrnehmung bzw. Messung befasst. Im elften Buch der „Bekenntnisse“ schreibt er [1]:

Doch können wir die *Zeit* nur messen, wenn wir sie beim Vorübergehen wahrnehmen. Wer aber könnte die vergangenen, die nicht mehr sind, oder die künftigen, die noch nicht sind, messen? Es müsste sonst einer zu behaupten wagen, er könne messen, was nicht ist. Wenn also die *Zeit* vorübergeht, kann sie wahrgenommen und gemessen werden.

Wie aber wird die wahrgenommene *Zeit* gemessen? Zunächst korreliert Augustinus *Zeit* ebenfalls mit Bewegung kommt aber sogleich zu dem Schluss, dass *Zeit* nicht die Bewegung der Himmelskörper ist und gibt ein anschauliches Beispiel:

Ich hörte einen gelehrten Mann sagen, der Sonne, des Mondes und der Gestirne Bewegung das seien die Zeiten. ... Warum dann nicht die Bewegung aller Körper? Wie, wenn die Himmelslichter still ständen, aber eine Töpferscheibe bewegt sich noch, gäbe es dann keine Zeit mehr, ihre Drehungen zu messen.

Augustinus übt also Kritik an der Auszeichnung der Bewegung der Himmelskörper als Zeitmaß, und gibt ein anschauliches Beispiel:

So sage mir niemand, die Bewegung der Himmelskörper sei die Zeit, denn auch damals, als die Sonne auf den Befehl eines Mannes stillstand, dass er siegreich die Schlacht vollenden konnte, stand sie wohl still, doch die Zeit ging fort. Denn in dem Zeitraum, dessen jene Schlacht bedurfte, ward sie geschlagen und beendet.

Augustinus bezieht sich hier auf die Schilderung der Schlacht Josuas gegen die Amoriter aus dem Alten Testament. Im Gegensatz zu Aristoteles, der die Kreisbewegung als Grundelement der Zeitmessung annimmt, verinnerlicht Augustinus das Maß der Zeit:

In dir, mein Geist, messe ich meine Zeiten ... der Eindruck, den die vorübergehenden Dinge in dir hervorbringen und der bleibt, wenn sie vergangen sind, ihn, den gegenwärtigen, messe ich ... also ist er es [der Eindruck; Anm. d. Autors] den wir die Zeiten nennen, oder aber ich kann die Zeit nicht messen.

Augustinus kommt hier zu einem subjektiven Zeitmaß, eigentlich zum Zeitempfinden.

## **Kants A Priori versus Newtons absolute Zeit**

Als nächstes sei Kant zitiert, weil er meines Erachtens, direkt an diese Überlegungen anschließt. Zwischen Kant und Augustinus liegt mehr als ein Jahrtausend, und ich überspringe damit Philosophen und Naturforscher wie Thomas von Aquin, Locke und die englischen Empiristen sowie Leibniz. Sie alle haben über das Wesen der Zeit reflektiert. Auf Newtons absolute Zeit komme ich gleich zu sprechen; zunächst das bekannte Zitat aus der „Kritik der reinen Vernunft“ von Immanuel Kant [3]:

Die Zeit ist kein empirischer Begriff, der irgend von einer Erfahrung abgezogen worden. Denn das Zugleichsein oder Aufeinanderfolgen würde selbst nicht in die Wahrnehmung kommen, wenn die Vorstellung der Zeit nicht a priori zugrunde läge.

Für Kant ist die Zeit weder in den Dingen noch selbst existent. Es ist eine Intuition so in unser Bewusstsein eingebaut, dass wir die Phänomene als zeitliche sehen:

Sie ist nichts, als die Form unsrer inneren Anschauung. Wenn man von ihr die besondere Bedingung unserer Sinnlichkeit wegnimmt, so verschwindet auch der Begriff der Zeit, und sie hängt nicht an den Gegenständen selbst, sondern bloß am Subjekte, welches sie anschaut.

Das Subjekt bringt also den zeitlichen Aspekt in die Welt vermöge der a priori gegebenen Vorstellung. Kant nennt es auch die „empirische Realität der Zeit“ zum Unterschied einer „absoluten Realität der Zeit“. Er kritisiert den Begriff der absoluten Realität der Zeit, welches „die Partei der mathematischen Naturforscher ist“, mit den Worten:

... sie müssen (die Naturforscher; Anm. d. Autors) zwei ewige und unendliche vor sich bestehende Undinge annehmen (Raum und Zeit; Anm. d. A.) welche da sind nur um alles Wirkliche zu fassen.

Kant hat bei seiner Kritik wohl Newtons Definition der absoluten Zeit vor Augen gehabt. Newtons schreibt in der „Naturalis philosophiae principia mathematica“ (1687) [4]:

Die absolute, wahre und mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig, und ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand. Sie wird auch mit dem Namen Dauer belegt.

Demgegenüber gilt:

Die relative, scheinbare und gewöhnliche Zeit ist ein fühlbares und äußerliches, entweder genaues oder ungenaues Maß der Dauer, dessen man sich gewöhnlich statt der wahren Zeit bedient.

Newtons „gewöhnliche Zeit“ kann man als intersubjektiv bezeichnen, der er die abstrakt absolute entgegensetzt. Er schränkt aber ein, dass diese absolute Zeit eigentlich nicht messbar ist:

Es ist möglich, dass keine gleichförmige Bewegung existiert, durch welche die Zeit genau gemessen werden kann, alle Bewegungen können beschleunigt oder verzögert werden, allein der Verlauf der absoluten Zeit kann nicht geändert werden.

Man erkennt den diametralen Gegensatz zu Kants „empirische Realität der Zeit“, der diese absolute Zeit als „Unding“ bezeichnet hat. Newton definiert auch den absoluten Raum bezüglich dessen der Begriff der Ruhe und Bewegung eindeutig gegeben ist.

## Die Kritik Machs

Der Physiker und Naturphilosoph Ernst Mach hat in seinem Werk „Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt“ Newtons absoluten Zeitbegriff scharf kritisiert. Nach Mach wird Newton mit der Definition der absoluten Zeit seiner Absicht, nur das Tatsächliche zu untersuchen, nicht gerecht [5]:

Diese absolute Zeit kann an gar keiner Bewegung abgemessen werden, sie hat also gar keinen praktischen und auch keinen wissenschaftlichen Wert.

Und weiter:

Wir sind ganz außerstande, die Veränderung der Dinge an der Zeit zu messen. Die Zeit ist vielmehr eine Abstraktion, zu der wir durch die Veränderung der Dinge gelangen, weil wir auf kein bestimmtes Maß angewiesen sind, da eben alle untereinander zusammenhängen.

Mach will damit sagen, dass wir nicht eine bestimmte Bewegung als Maß der Zeit auszeichnen müssen, sondern weil alle „untereinander zusammenhängen,“ gelangen wir zu einer Abstraktion, die wir mit Zeit bezeichnen. Meint Mach damit ein eindeutiges universelles Zeitmaß, das die Rolle von Newtons absoluter Zeit spielen könnte? Ich glaube ja, denn im Weiteren

beschäftigt sich Mach mit der Nichtumkehrbarkeit der Zeit im Zusammenhang mit dem Entropiebegriff und meint:

... dass die Entropie des Weltalls, wenn sie überhaupt bestimmt werden könnte, wirklich eine Art absoluten Zeitmasses darstellen könnte.

Nach Mach ist die, ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand, absolute Zeit ein für die Naturwissenschaft unbrauchbares Konstrukt. Demgegenüber könnte jedoch das Zusammenspiel sämtlicher Komponenten des Weltalls zu einer universellen Zeit führen.

Etwa 200 Jahre lang war, aller Kritik zum Trotz, Newtons absoluter Zeitbegriff das Fundament physikalischer Naturbeschreibung. Vor allem in der klassischen Himmelsmechanik, etwa bei der Beschreibung der Planetenbahnen, der Vorhersage von Mond- und Sonnenfinsternissen oder bei der Analyse von Kometenbahnen sowie bei Doppelsternsystemen lieferten die Newtonschen Grundgleichungen Resultate, die in extrem guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen waren. In diesen Gleichungen kommt die Zeit als unabhängige Variable vor. Die Identifizierung dieser Variable mit der von unseren Uhren (welcher?) angezeigten Zeit ist nicht selbstverständlich.

## Die Einsteinsche Revolution

Anfang des vergangenen Jahrhunderts, hat mit Lorentz, Poincaré und vor allem Einstein eine auf experimenteller Grundlage basierende Revision des klassischen Zeitbegriffs eingesetzt. Hatten bis dahin Raum und Zeit als voneinander unabhängig gegolten, entsteht nun der Begriff der Raumzeit. Im Jahre 1908, also drei Jahre nach der grundlegenden Arbeit zur Speziellen Relativitätstheorie von Albert Einstein, hält Hermann Minkowski auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte einen Vortrag mit dem Titel „Raum und Zeit“ und sagt in seiner Einleitung [6]:

Die Anschauungen über Raum und Zeit, die ich Ihnen entwickeln möchte, sind auf experimentell-physikalischem Boden erwachsen. Darin liegt ihre Stärke. Die Tendenz ist eine radikale. Von Stund an sollen Raum und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren.



Der Ausgangspunkt zur Relativitätstheorie war für Einstein die Analyse des Begriffs der Gleichzeitigkeit. In der vorhin erwähnten Arbeit von 1905 schreibt er [7]:

Wir haben zu berücksichtigen, dass alle Urteile, in welchen die Zeit eine Rolle spielt, immer Urteile über gleichzeitige Ereignisse sind.

Was heißt es, zwei räumlich getrennte Ereignisse sind gleichzeitig? Und die damit verbundene Frage: Wie lassen sich zwei voneinander entfernte Uhren synchronisieren? Intuitiv glauben wir zu wissen was gleichzeitig ist: Ereignisse, die wir im selben Augenblick wahrnehmen. Tatsächlich ist dies jedoch ungenau, da sich jedes Signal nur mit endlicher Geschwindigkeit fortpflanzt. Selbst bei Licht erreicht uns das von entfernten Objekten später als das von nahe gelegenen. Wir sehen daher entfernte Objekte „jünger“ als nähere. Im täglichen Leben spielt dies wegen der großen Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen keine Rolle, doch ist dieser Effekt in der Astronomie geläufig. Je tiefer wir in das Weltall hinaus schauen, umso weiter blicken wir auch in die Vergangenheit. Unsere visuelle und damit unsere Wahrnehmung im Allgemeinen liefert daher kein „gleichzeitiges Bild“ der Außenwelt. Nun kann man dem entgegenhalten, dass unter Berücksichtigung der Signalgeschwindigkeit, die „Ebene der Gleichzeitigkeit“ errechenbar ist. Hier setzt nun die Relativitätstheorie ein: Während nach der Newtonschen Theorie wegen der Existenz einer absoluten Zeit die Gleichzeitigkeit eindeutig gegeben ist, ist dies nach Einstein nicht mehr der Fall. Nach Einstein ist die Gleichzeitigkeit nicht eindeutig konstruierbar, sondern hängt vom Bewegungszustand des Beobachters ab.

Alle Konsequenzen der Speziellen Relativitätstheorie folgen in wesentlichen aus dieser Relativität der Gleichzeitigkeit. Insbesondere werden Raum und Zeit zu der von Minkowski dargelegten Raumzeit. Auf die philosophischen Implikationen dieser neuen Struktur hat der Mathematiker Kurt Gödel hingewiesen. In einem kurzen Aufsatz mit dem Titel „Eine Bemerkung über die Beziehungen zwischen der Relativitätstheorie und der idealistischen Philosophie“ schreibt er [8]:

Es scheint, dass man einen eindeutigen Beweis für die Ansicht jener Philosophen erhält, die, wie Parmenides, Kant und die modernen Idealisten, die Objektivität des Wechsels leugnen und diesen als eine Illusion oder

als Erscheinung betrachten, die wir unserer besonderen Art der Wahrnehmung verdanken ...

Die wohl am meisten diskutierte Konsequenz aus der Relativitätstheorie ist die so genannte „Zeitdilatation“. Sie besagt, dass Zeit nicht unabhängig vom Bewegungszustand vergeht. Dies bedeutend, dass Uhren, die sich relativ zueinander bewegen, unterschiedlich schnell gehen. Dabei hängt dieser Unterschied weder von der Bauart noch von eventuellen Beschleunigungen sondern ausschließlich von den Geschwindigkeiten der Uhren ab. Da sich dieser Effekt aber erst bei großen Geschwindigkeiten, die vergleichbar mit der Lichtgeschwindigkeit sind, bemerkbar macht, wird er uns im täglichen Leben nicht bewusst (siehe jedoch die Bemerkung weiter unten).

Mit der Relativitätstheorie wird die Zeit ein mit dem einzelnen Teilchen verbundener Begriff, sie wird zur „Eigenzeit“. Diese Eigenzeit hängt von der jeweiligen „Weltlinie“ ab, die das Teilchen durch die Raumzeit beschreibt. Der Begriff der Eigenzeit ist ein „objektiv individueller“ und ist zu unterscheiden von dem des subjektiven Zeitempfinden. Objektiv deshalb, weil die Eigenzeit jene Zeit ist, die eine (ideale) Uhr entlang der betrachteten Weltlinie anzeigt.

## Von der Eigenzeit zur dynamischen Zeit

Wurde mit der speziellen Relativitätstheorie die absolute Zeit zugunsten eines relativen Zeitbegriffs aufgegeben, so nimmt in der Allgemeinen Relativitätstheorie die Geometrie der Raumzeit in Wechselwirkung mit der Materie am dynamischen Geschehen teil.

Ausgangspunkt zur Allgemeinen Relativitätstheorie war für Einstein die Frage, warum Geschwindigkeit relativ, Beschleunigung jedoch absolut ist. Denn Beschleunigung manifestiert sich durch das Auftreten von Trägheitskräften (Widerstand eines Körpers gegen eine Änderung der Geschwindigkeit), ohne Bezug auf andere Körper. Dies führte Einstein dazu, sich näher mit dem Phänomen der Trägheit zu beschäftigen. Er wurde dabei von Ideen des schon erwähnten E. Machs beeinflusst, der Kritik nicht nur am Newtonschen absoluten Zeitbegriff übte, sondern auch am Begriff des absoluten Raumes. Nach Mach ist die Ursache für das Auftreten von Trägheitskräften, etwa beim Newtonschen Eimerversuch, nicht in der Beschleunigung relativ eines absoluten Raumes zu suchen, sondern in der Verteilung der Materie im Universum [4].

Das Verhalten der irdischen Körper gegen die Erde lässt sich auf deren Verhalten gegen die fernen Himmelskörper zurückführen. ... Wenn wir daher sagen , dass ein Körper seine Richtung und Geschwindigkeit im Raum beibehält, so liegt darin nur eine kurze Anweisung der ganzen Welt.

Verliert mit der Relativitätstheorie der Begriff der Gleichzeitigkeit und damit die Existenz einer universellen Zeit ihre Bedeutung, so geht die Allgemeine Relativitätstheorie noch einen Schritt weiter: Zeit wird nicht nur durch Bewegung beeinflusst, sondern auch durch vorhandene Massen im Universum. Der Uhrengang verlangsamt sich (relativ zu einer weiter entfernten Uhr) in der Nähe großer Massen. Beide Effekte, der Geschwindigkeits- und der Gravitationseffekt (die i. A. nicht voneinander zu trennen sind) überlagern sich bei der Zeit-Synchronisation der Sattelliten des globalen Positionierungssystems (GPS). Bei Nicht-Berücksichtigung dieser Zeitdifferenz wäre die erforderliche Genauigkeit in der Positionsbestimmung nach nur drei Minuten bereits überschritten, und würde auf ca. 11 km in einem Tag anwachsen!

Die Geometrie der Raumzeit und damit die Zeit selbst wird durch die Verteilung der Massen im Universum beeinflusst, sie ist daher der Dynamik unterworfen. Jeder Körper hat somit seine Eigenzeit, die von der Weltlinie durch die Raumzeit bestimmt wird und von der Verteilung und Bewegung der übrigen Massen abhängig ist.

## **Von der dynamischen Zeit zur kosmologischen Zeit**

Die umfassendste physikalische wie auch philosophische Bedeutung erlangt die Allgemeine Relativitätstheorie im Zusammenhang mit kosmologischen Fragen, Fragen zur Struktur und Entwicklung des Universums als Ganzes. Was hier vor allem von Interesse ist, ist die Frage, wie die Wechselwirkung zwischen Materie und Geometrie den Begriff der Zeit beeinflusst. Zunächst ergeben die Einsteinschen Gleichungen, dass das Universum nicht statisch sein kann. Einstein hatte versucht, diese Konsequenz zu umgehen, indem er zu seinen Gleichungen die kosmologische Konstante hinzufügte. Bereits in den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts hat der Astronom Edwin Hubble beobachtet, dass sich die Galaxien voneinander entfernen und zwar mit einer Geschwindigkeit, die proportional zu ihrem Abstand ist. Das ganze Universum unterliegt einer Expansion. Diese allumfassende Expansion erlaubt es aber ein universelles Bezugssystem

zu definieren und damit eine universelle Zeit: Alle Uhren, die sich mit dem „Hubble Fluss“ bewegen, zeigen die gleiche Eigenzeit. Es ist diese Zeit, die gemeint ist, wenn man sagt, der Urknall liegt 14 Milliarden Jahre zurück.

Damit schließt sich der Kreis: Die Ideen des Aristoteles, Zeit mit der Bewegung der Himmelsphären zu identifizieren, wird durch Newton zur absoluten Zeit, losgelöst von jeder Bewegung. Diese absolute Zeit wird durch Einstein zunächst zur relativen und dann zur dynamischen Zeit, um schließlich wegen der besonderen Struktur des Universums wieder zu einer universellen zu werden, bestimmt durch die Bewegung des Substrats. Aber die Analogie geht tiefer. Aristoteles sagt, die ausgezeichnete Bewegung sei die Zeit. Hier nochmals der entscheidende Satz:

Das ist der Grund, warum die Zeit die Bewegung der Himmelskugel zu sein scheint, weil durch diese alle anderen Bewegungen gemessen werden und durch sie die Zeit.

Für Aristoteles bedeutete dies, dass ohne die Bewegung der Himmelsphären Zeit nicht vergeht. Demgegenüber verknüpft die Relativitätstheorie die Geometrie der Raum-Zeit mit der darin enthaltenen Materie bzw. Energie. In der Kosmologie bedingt die Materie die Geometrie im Großen und damit die Zeit.

## Literatur

- [1] Augustinus A. 1982 *Bekenntnisse*, Übertragen von W. Thimme, Artemis Verlag, 3. Auflage, Zürich, S. 312–328.
- [2] Aristoteles 1956 *Die Lehrschriften*, Übersetzt von P. Gohlke, Band IV, 1, Verlag Ferdinand Schöningh, Paderborn, S. 143–156.
- [3] Kant I. 1986 *Kritik der reinen Vernunft*, Insel Verlag, Frankfurt (B46, 47), A31; (B53, 54), A37.
- [4] Newton I. 1872 *Mathematische Prinzipien der Naturlehre*, R. Oppenheim, Berlin, S. 25.
- [5] Mach E. 1908 *Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt*, F.A. Brockhaus, 6. Auflage, Leipzig, S. 236.
- [6] Minkowski H. 1913 *Raum und Zeit*, aus H. A. Lorentz, A. Einstein und H. Minkowski, *Das Relativitätsprinzip*, Teubner, Leipzig, 2. Abdruck 1915, S. 56.

- [7] Einstein A. 1905 „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“, *Annalen der Physik* Bd. 17, S. 891.
- [8] Gödel K. 1979 „Eine Bemerkung über die Beziehungen zwischen der Relativitätstheorie und der idealistischen Philosophie“, in P.A. Schilpp, *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Vieweg, Braunschweig 1979, S. 406–407.