

Äther und die Relativitätstheorie

Albert Einstein

Universität Leyden, 1920

WIE kommt es dazu, dass die Physiker neben die Idee der abwägbaren Materie, die durch Abstraktion aus dem täglichen Leben abgeleitet wird, die Idee der Existenz einer anderen Art von Materie, des Äthers, setzen? Die Erklärung ist wahrscheinlich in den Phänomenen zu suchen, die zur Theorie der Fernwirkung geführt haben, und in den Eigenschaften des Lichts, die zur Wellentheorie geführt haben. Widmen wir uns kurz der Betrachtung dieser beiden Themen.

Außerhalb der Physik wissen wir nichts über die Wirkung auf Distanz. Wenn wir versuchen, Ursache und Wirkung in den Erfahrungen zu verbinden, die uns die natürlichen Objekte bieten, scheint es zunächst so, als gäbe es keine anderen wechselseitigen Aktionen als die des unmittelbaren Kontakts, z. B. die Übertragung von Bewegung durch Stoß, Druck und Zug, Erhitzung oder Verbrennung durch eine Flamme usw.

Es stimmt, dass auch in der alltäglichen Erfahrung das Gewicht, das in gewissem Sinne eine Fernwirkung ist, eine sehr wichtige Rolle spielt.

Da uns aber in der täglichen Erfahrung das Gewicht von Körpern als etwas Konstantes begegnet, das nicht an eine zeitlich oder örtlich veränderliche Ursache gebunden ist, spekulieren wir im Alltag nicht über die Ursache der Schwerkraft und werden uns daher auch nicht ihres Charakters als Fernwirkung bewusst. Es war Newtons Gravitationstheorie, die der Schwerkraft erstmals eine Ursache zuwies, indem sie sie als Fernwirkung interpretierte, die von Massen ausgeht.

Newtons Theorie ist wahrscheinlich der größte Schritt, der jemals in dem Bemühen gemacht wurde, den kausalen Zusammenhang von Naturphänomenen zu verstehen.

Und doch rief diese Theorie bei Newtons Zeitgenossen ein lebhaftes Missfallen hervor, weil sie im Widerspruch zu dem aus der übrigen Erfahrung stammenden Grundsatz zu stehen schien, dass eine gegenseitige Beeinflussung nur durch Kontakt und nicht durch unmittelbare Fernwirkung erfolgen kann.

Nur widerwillig erträgt das Erkenntnisstreben des Menschen einen solchen Dualismus. Wie sollte sich die Einheit in seinem Verständnis der Naturkräfte darstellen? Entweder indem man versucht, die Kontaktkräfte als selbst entfernte Kräfte zu betrachten, die freilich nur in sehr geringer Entfernung beobachtbar sind - und diesen Weg haben die Anhänger Newtons, die ganz im Bann seiner Lehre standen, meist bevorzugt; oder indem man annimmt, dass die Newtonsche Fernwirkung nur *scheinbar* eine unmittelbare Fernwirkung ist, in Wahrheit aber durch ein raumdurchdringendes Medium vermittelt wird, sei es durch Bewegungen oder durch elastische Verformungen dieses Mediums. Das Bemühen um eine einheitliche Betrachtung der Natur der Kräfte führt also zur Hypothese eines Äthers. Diese Hypothese brachte freilich zunächst keinen Fortschritt in der Theorie der Gravitation oder in der Physik im Allgemeinen mit sich, so dass es üblich wurde, das Newtonsche Kraftgesetz als ein nicht weiter reduzierbares Axiom zu behandeln. Aber die Ätherhypothese sollte immer eine gewisse

Rolle in der Physik spielen, wenn auch zunächst nur eine versteckte Rolle.

Als sich in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die weitreichende Ähnlichkeit zwischen den Eigenschaften des Lichts und denen der elastischen Wellen in schwerfälligen Körpern herausstellte, fand die Ätherhypothese neue Unterstützung. Es schien außer Frage zu stehen, dass das Licht als ein Schwingungsvorgang in einem elastischen, trägen Medium, das den universellen Raum ausfüllt, interpretiert werden muss. Dass dieses Medium, der Äther, die Beschaffenheit eines Festkörpers haben muss, schien auch eine notwendige Konsequenz aus der Tatsache zu sein, dass Licht zur Polarisation fähig ist, denn Transversalwellen sind nicht in einer Flüssigkeit, sondern nur in einem Festkörper möglich. So kamen die Physiker zwangsläufig zu der Theorie des "quasistarren" leuchtenden Äthers, dessen Teile keine Bewegungen relativ zueinander ausführen können, außer den kleinen Verformungsbewegungen, die den Lichtwellen entsprechen.

Diese Theorie - auch als Theorie des stationären Lichtäthers bezeichnet - fand darüber hinaus eine starke Unterstützung in einem Experiment, das auch für die spezielle Relativitätstheorie von grundlegender Bedeutung ist, dem Experiment von Fizeau, aus dem man ableiten musste, dass der Lichtäther nicht an den Bewegungen der Körper teilnimmt. Das Phänomen der Aberration begünstigte ebenfalls die Theorie des quasi-rigiden Äthers.

Die Entwicklung der Elektrizitätslehre auf dem von Maxwell und Lorentz eröffneten Weg gab der Entwicklung unserer Vorstellungen über den Äther eine ganz eigentümliche und unerwartete Wendung. Für Maxwell selbst hatte der Äther in der Tat noch Eigenschaften, die rein mechanisch waren, wenn auch von viel komplizierterer Art als die mechanischen Eigenschaften von greifbaren festen Körpern. Aber weder Maxwell noch seinen Anhängern gelang es, ein mechanisches Modell für den Äther auszuarbeiten, das eine befriedigende mechanische Interpretation der Maxwellschen Gesetze des elektromagnetischen Feldes liefern könnte. Die Gesetze waren klar und einfach, die mechanischen Interpretationen unbeholfen und widersprüchlich. Fast unmerklich passten sich die theoretischen Physiker an eine Situation an, die vom Standpunkt ihres mechanischen Programms aus sehr deprimierend war. Besonders beeinflusst wurden sie dabei von den elektrodynamischen Untersuchungen von Heinrich Hertz. Denn während sie zuvor von einer schlüssigen Theorie verlangt hatten, dass sie sich mit den Grundbegriffen begnügt, die ausschließlich der Mechanik angehören (z.B. Dichten, Geschwindigkeiten, Verformungen, Spannungen), gewöhnten sie sich allmählich daran, elektrische und magnetische Kraft als Grundbegriffe neben denen der Mechanik zuzulassen, ohne eine mechanische Deutung für sie zu verlangen. So wurde die rein mechanische Sichtweise der Natur nach und nach aufgegeben. Dieser Wandel führte jedoch zu einem grundlegenden Dualismus, der auf Dauer nicht mehr tragbar war.

Ein Ausweg wurde nun in umgekehrter Richtung gesucht, indem man die Prinzipien der Mechanik auf die der Elektrizität reduzierte, zumal das Vertrauen in die strenge Gültigkeit der Gleichungen der Newtonschen Mechanik durch die Experimente mit Betastrahlen und schnellen Kathodenstrahlen erschüttert wurde.

Dieser Dualismus begegnet uns in abgeschwächter Form noch in der Theorie von Hertz, wo die Materie als nicht nur als Träger von Geschwindigkeiten, kinetischer Energie und mechanischem Druck, sondern auch als Träger von elektromagnetischen Feldern. Da solche Felder auch *im Vakuum* - d.h. im freien Äther - auftreten, erscheint der Äther auch als Träger elektromagnetischer Felder. Der Äther erscheint in seinen Funktionen ununterscheidbar von gewöhnlicher Materie. Innerhalb der Materie nimmt er an der Bewegung der Materie teil und im leeren Raum hat er überall eine Geschwindigkeit; so dass der Äther im gesamten Raum eine fest zugeordnete Geschwindigkeit hat.

Es gibt keinen grundlegenden Unterschied zwischen dem Hertz'schen Äther und der abwägbaren Materie (die zum Teil im Äther existiert).

Die Hertz'sche Theorie litt nicht nur unter dem Fehler, der Materie und dem Äther einerseits mechanische

Zustände und andererseits elektrische Zustände zuzuschreiben, die in keinem denkbaren Verhältnis zueinander stehen; sie stand auch im Widerspruch zum Ergebnis von Fizeaus wichtigem Experiment über die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts in bewegten Flüssigkeiten und zu anderen feststehenden experimentellen Ergebnissen.

Dies war der Stand der Dinge, als H. A. Lorentz die Szene betrat. Er brachte die Theorie durch eine wunderbare Vereinfachung der theoretischen Prinzipien mit der Erfahrung in Einklang. Er erreichte dies, den wichtigsten Fortschritt in der Theorie der Elektrizität seit Maxwell, indem er dem Äther seine mechanischen und der Materie seine elektromagnetischen Eigenschaften nahm. Wie im leeren Raum, so war auch im Inneren von materiellen Körpern ausschließlich der Äther und nicht die atomar betrachtete Materie der Sitz der elektromagnetischen Felder. Nach Lorentz sind allein die Elementarteilchen der Materie in der Lage, Bewegungen auszuführen; ihre elektromagnetische Aktivität beschränkt sich ausschließlich auf das Tragen elektrischer Ladungen. So gelang es Lorentz, alle elektromagnetischen Vorgänge auf die Maxwellschen Gleichungen für den freien Raum zu reduzieren.

Was die mechanische Natur des Lorentz'schen Äthers betrifft, so kann man in einem etwas spielerischen Sinne sagen, dass die Unbeweglichkeit die einzige mechanische Eigenschaft ist, die ihm von H. A. Lorentz nicht genommen wurde. Es kann hinzugefügt werden, dass die gesamte Änderung in der Auffassung des Äthers, die die spezielle Relativitätstheorie mit sich brachte, darin bestand, dem Äther seine letzte mechanische Eigenschaft zu nehmen, nämlich seine Unbeweglichkeit. Wie dies zu verstehen ist, wird gleich dargelegt werden.

Die Raum-Zeit-Theorie und die Kinematik der speziellen Relativitätstheorie wurden auf der Maxwell-Lorentz-Theorie des elektromagnetischen Feldes aufgebaut. Diese Theorie erfüllt also die Bedingungen der speziellen Relativitätstheorie, erhält aber aus deren Sicht einen neuen Aspekt. Denn wenn K ein Koordinatensystem ist, relativ zu dem der Lorentzsche Äther ruht, sind die Maxwell-Lorentz-Gleichungen in Bezug auf K permanent gültig. Aber durch die spezielle Relativitätstheorie gelten dieselben Gleichungen ohne jede Bedeutungsänderung auch in Bezug auf jedes neue Koordinatensystem K' , das sich in gleichmäßiger Translation relativ zu K bewegt. Nun stellt sich die bange Frage: -- Warum muss ich in der Theorie das System K vor allen K' -Systemen, die ihm physikalisch in jeder Hinsicht gleichwertig sind, dadurch auszeichnen, dass ich annehme, dass der Äther relativ zum System K ruht?

Für den Theoretiker ist eine solche Asymmetrie in der theoretischen Struktur, ohne entsprechende Asymmetrie im System der Erfahrung, unerträglich. Wenn wir annehmen, dass der Äther relativ zu K ruht, aber relativ zu K' in Bewegung ist, scheint mir die physikalische Äquivalenz von K und K' vom logischen Standpunkt aus zwar nicht ganz falsch, aber doch inakzeptabel.

Die nächste Position, die man angesichts dieser Sachlage einnehmen konnte, schien die folgende zu sein. Den Äther gibt es gar nicht. Die elektromagnetischen Felder sind keine Zustände eines Mediums und nicht an einen Träger gebunden, sondern sie sind eigenständige Realitäten, die auf nichts anderes reduzierbar sind, genau wie die Atome der ponderablen Materie. Diese Vorstellung liegt umso näher, als nach der Lorentzschen Theorie die elektromagnetische Strahlung wie die abwägbare Materie Impuls und Energie mit sich bringt und nach der speziellen Relativitätstheorie sowohl die Materie als auch die Strahlung nur besondere Formen verteilter Energie sind, wobei die abwägbare Masse ihre Isolation verliert und als besondere Form der Energie erscheint.

Eine genauere Betrachtung lehrt uns jedoch, dass die spezielle Relativitätstheorie uns nicht dazu zwingt, den Äther zu leugnen. Wir dürfen die Existenz eines Äthers annehmen; nur müssen wir es aufgeben, ihm einen bestimmten Bewegungszustand zuzuschreiben, d.h. wir müssen ihm durch Abstraktion die letzte mechanische Eigenschaft nehmen, die Lorentz ihm noch gelassen hatte. Wir werden später sehen, dass dieser Standpunkt, dessen Denkbarkeit ich gleich durch einen etwas zögerlichen Vergleich verständlicher zu machen versuchen werde, durch die Ergebnisse der allgemeinen Relativitätstheorie gerechtfertigt ist.

Denken Sie an Wellen auf der Wasseroberfläche.

Hier können wir zwei völlig unterschiedliche Dinge beschreiben. Entweder kann man beobachten, wie sich die wellenförmige Oberfläche, die die Grenze zwischen Wasser und Luft bildet, im Laufe der Zeit verändert, oder man kann - etwa mit Hilfe von kleinen Schwimmern - beobachten, wie sich die Lage der einzelnen Wasserteilchen im Laufe der Zeit verändert. Wäre das Vorhandensein solcher Schwimmer, mit denen man die Bewegung der Teilchen einer Flüssigkeit verfolgen kann, eine grundsätzliche Unmöglichkeit in der Physik - wenn nämlich nichts anderes beobachtbar wäre als die Form des Raumes, den das Wasser im Laufe der Zeit einnimmt -, hätten wir keinen Grund für die Annahme, dass Wasser aus beweglichen Teilchen besteht. Dennoch könnten wir es als flüssiges Medium bezeichnen.

Etwas Ähnliches haben wir im elektromagnetischen Feld. Denn wir können uns das Feld als aus Kraftlinien bestehend vorstellen. Wenn wir uns diese Kraftlinien als etwas Materielles im gewöhnlichen Sinne vorstellen wollen, sind wir versucht, die dynamischen Prozesse als Bewegungen dieser Kraftlinien zu interpretieren, so dass jede einzelne Kraftlinie durch den Lauf der Zeit verfolgt wird. Es ist jedoch bekannt, dass diese Art der Betrachtung des elektromagnetischen Feldes zu Widersprüchen führt.

Verallgemeinernd müssen wir folgendes sagen: -- Man kann davon ausgehen, dass es ausgedehnte physikalische Objekte gibt, auf die die Idee der Bewegung nicht angewandt werden kann. Man kann sie sich nicht als Teilchen vorstellen, die sich getrennt durch die Zeit verfolgen lassen. In der Sprache Minkowskis wird dies wie folgt ausgedrückt: -- Nicht jede ausgedehnte Konformation in der vierdimensionalen Welt kann als aus Weltfäden zusammengesetzt betrachtet werden. Die spezielle Relativitätstheorie verbietet uns die Annahme, dass der Äther aus zeitlich beobachtbaren Teilchen besteht, aber die Hypothese des Äthers an sich ist nicht in Widerspruch zur speziellen Relativitätstheorie. Wir müssen uns nur davor hüten, dem Äther einen Bewegungszustand zuzuschreiben.

Gewiss, vom Standpunkt der speziellen Relativitätstheorie aus betrachtet, erscheint die Ätherhypothese zunächst als eine leere Hypothese. In den Gleichungen des elektromagnetischen Feldes kommen neben den Dichten der elektrischen Ladung *nur* die Intensitäten des Feldes vor. Der Verlauf der elektromagnetischen Prozesse *im Vakuum* scheint durch diese Gleichungen vollständig bestimmt zu sein, unbeeinflusst von anderen physikalischen Größen. Die elektromagnetischen Felder erscheinen als ultimative, irreduzible Realitäten, und es erscheint zunächst überflüssig, ein homogenes, isotropes Äthermedium zu postulieren und elektromagnetische Felder als Zustände dieses Mediums vorzustellen.

Andererseits gibt es aber auch ein starkes Argument, das für die Ätherhypothese spricht. Die Leugnung des Äthers bedeutet letztlich die Annahme, dass der leere Raum keinerlei physikalische Eigenschaften besitzt. Die grundlegenden Tatsachen der Mechanik harmonieren nicht mit dieser Auffassung. Denn das mechanische Verhalten eines frei im leeren Raum schwebenden körperlichen Systems hängt nicht nur von relativen Positionen (Abständen) und relativen Geschwindigkeiten ab, sondern auch von seinem Rotationszustand, der physikalisch als eine dem System an sich nicht zukommende Eigenschaft aufgefasst werden kann. Um die Rotation des Systems zumindest formal als etwas Reales betrachten zu können, objektiviert Newton den Raum. Da er seinen absoluten Raum mit realen Dingen zusammenfasst, ist für ihn auch die Rotation relativ zu einem absoluten Raum etwas Reales. Newton hätte seinen absoluten Raum nicht minder gut "Äther" nennen können; wesentlich ist nur, dass neben den beobachtbaren Objekten ein anderes, nicht wahrnehmbares Ding als real angesehen werden muss, damit Beschleunigung oder Rotation als etwas Reales angesehen werden können.

Es ist wahr, dass Mach versucht hat, zu vermeiden, etwas als real zu akzeptieren, das nicht beobachtbar ist, indem er versuchte, in der Mechanik eine mittlere Beschleunigung in Bezug auf die Gesamtheit der Massen im Universum anstelle einer Beschleunigung in Bezug auf den absoluten Raum zu ersetzen. Der Trägheitswiderstand, der der relativen Beschleunigung entfernter Massen entgegengesetzt wird, setzt aber eine

Fernwirkung voraus; und da der moderne Physiker nicht glaubt, diese Fernwirkung annehmen zu können, kommt er, wenn er Mach folgt, wieder auf den Äther zurück, der als Medium für die Trägheitswirkungen zu dienen hat. Diese Äthervorstellung, zu der uns die Denkweise Machs führt, unterscheidet sich aber wesentlich von der Äthervorstellung Newtons, Fresnels und Lorentz'. Machs Äther *konditioniert* nicht nur das Verhalten der trägen Massen, sondern wird auch in seinem Zustand durch sie *konditioniert*.

Die Idee von Mach findet ihre volle Entfaltung im Äther der allgemeinen Relativitätstheorie.

Nach dieser Theorie unterscheiden sich die metrischen Qualitäten des Raum-Zeit-Kontinuums in der Umgebung verschiedener Raum-Zeit-Punkte und sind teilweise durch die außerhalb des betrachteten Gebietes existierende Materie bedingt. Diese raumzeitliche Variabilität der wechselseitigen Beziehungen der Standards von Raum und Zeit, oder vielleicht auch die Erkenntnis, dass der leere Raum in seiner physikalischen Beziehung weder homogen noch isotrop ist, was uns zwingt, seinen Zustand durch zehn Funktionen (die Gravitationspotentiale $g_{\mu\nu}$) zu beschreiben, hat, denke ich, die Ansicht, dass der Raum physikalisch leer ist, endgültig beseitigt. Aber damit hat die Vorstellung vom Äther wieder einen verständlichen Inhalt bekommen, auch wenn dieser Inhalt sich stark von dem des Äthers der mechanisch wellenförmig angenommenen Theorie des Lichts unterscheidet. Der Äther der allgemeinen Relativitätstheorie ist ein Medium, das selbst keine mechanischen und kinematischen Eigenschaften hat, aber dazu beiträgt, mechanische (und elektromagnetische) Ereignisse zu bestimmen.

Das grundlegend Neue am Äther der allgemeinen Relativitätstheorie gegenüber dem Lorentzschen Äther besteht darin, dass der Zustand des ersteren an jedem Ort durch Zusammenhänge mit der Materie und dem Zustand des Äthers an benachbarten Orten bestimmt ist, die in Form von Differentialgleichungen gesetzesfähig sind, während der Zustand des Lorentzschen Äthers in Abwesenheit elektromagnetischer Felder durch nichts außerhalb seiner selbst bedingt ist und überall gleich ist. Der Äther der allgemeinen Relativitätstheorie wird begrifflich in den Lorentzschen Äther umgewandelt, wenn wir die Raumfunktionen, die den ersteren beschreiben, durch Konstanten ersetzen und die Ursachen, die seinen Zustand bedingen, außer Acht lassen. Man kann also auch sagen, dass der Äther der allgemeinen Relativitätstheorie das Ergebnis des Lorentzschen Äthers ist, und zwar durch Relativierung.

Über die Rolle, die der neue Äther in der Physik der Zukunft spielen soll, sind wir uns noch nicht im klaren. Wir wissen, dass er die metrischen Verhältnisse im Raum-Zeit-Kontinuum bestimmt, z.B. die Gestaltungsmöglichkeiten fester Körper sowie die Gravitationsfelder; aber wir wissen nicht, ob er einen wesentlichen Anteil an der Struktur der elektrischen Elementarteilchen hat, die die Materie bilden. Wir wissen auch nicht, ob sich seine Struktur nur in der Nähe von ponderablen Massen wesentlich von der des Lorentzschen Äthers unterscheidet; ob die Geometrie von Räumen kosmischer Ausdehnung annähernd euklidisch ist. Aber wir können aufgrund der relativistischen Gravitationsgleichungen behaupten, dass es eine Abweichung von den euklidischen Verhältnissen mit Räumen kosmischer Größenordnung geben muss, wenn es eine positive mittlere Dichte der Materie im Universum gibt, sei sie auch noch so klein.

In diesem Fall muss das Universum notwendigerweise räumlich unbegrenzt und von endlicher Größe sein, wobei seine Größe durch den Wert dieser mittleren Dichte bestimmt wird.

Betrachtet man das Gravitationsfeld und das elektromagnetische Feld vom Standpunkt der Ätherhypothese aus, so stellt man einen bemerkenswerten Unterschied zwischen beiden fest. Es kann keinen Raum und keinen Teil des Raumes ohne Gravitationspotentiale geben; denn diese verleihen dem Raum seine metrischen Eigenschaften, ohne die er überhaupt nicht vorstellbar ist. Die Existenz des Gravitationsfeldes ist untrennbar mit der Existenz des Raumes verbunden. Andererseits kann man sich einen Teil des Raumes sehr wohl ohne ein elektromagnetisches Feld vorstellen; so scheint das elektromagnetische Feld im Gegensatz zum Gravitationsfeld nur sekundär mit dem Äther verbunden zu sein, wobei die formale Natur des elektromagnetischen Feldes noch in keiner Weise durch die des Gravitationsäthers bestimmt ist. Nach dem gegenwärtigen Stand der Theorie sieht

es so aus, als ob das elektromagnetische Feld im Gegensatz zum Gravitationsfeld auf einem völlig neuen formalen *Motiv* beruht, als ob die Natur den Gravitationsäther genauso gut mit Feldern eines ganz anderen Typs hätte ausstatten können, zum Beispiel mit Feldern eines skalaren Potentials anstelle von Feldern des elektromagnetischen Typs.

Da nach unseren heutigen Vorstellungen auch die Elementarteilchen der Materie in ihrem nichts anderes sind als Verdichtungen des elektromagnetischen Feldes, stellt unser heutiges Weltbild zwei begrifflich völlig voneinander getrennte, aber kausal miteinander verbundene Wirklichkeiten dar, nämlich Gravitationsäther und elektromagnetisches Feld, oder - wie man auch sagen könnte - Raum und Materie.

Natürlich wäre es ein großer Fortschritt, wenn es uns gelänge, das Gravitationsfeld und das elektromagnetische Feld zusammen als ein einheitliches System zu begreifen.

Dann würde zum ersten Mal die von Faraday und Maxwell begründete Epoche der theoretischen Physik zu einem befriedigenden Abschluss kommen. Der Gegensatz zwischen Äther und Materie würde verschwinden, und durch die allgemeine Relativitätstheorie würde die gesamte Physik zu einem vollständigen Gedankensystem werden, wie die Geometrie, die Kinematik und die Gravitationstheorie. Ein überaus genialer Versuch in dieser Richtung wurde von dem Mathematiker H. Weyl unternommen; ich glaube aber nicht, dass seine Theorie in Bezug auf die Wirklichkeit Bestand haben wird.

Außerdem sollten wir bei der Betrachtung der unmittelbaren Zukunft der theoretischen Physik die Möglichkeit, dass die in der Quantentheorie enthaltenen Fakten der Feldtheorie Grenzen setzen, über die sie nicht hinausgehen kann, nicht bedingungslos ablehnen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Raum nach der allgemeinen Relativitätstheorie mit physikalischen Eigenschaften ausgestattet ist; in diesem Sinne gibt es also einen Äther.

Nach der allgemeinen Relativitätstheorie ist ein Raum ohne Äther nicht denkbar; denn in einem solchen Raum gäbe es nicht nur keine Lichtausbreitung, sondern auch keine Existenzmöglichkeit für Raum- und Zeitmaßstäbe (Messstäbe und Uhren), also auch keine Raum-Zeit-Intervalle im physikalischen Sinne. Man darf sich diesen Äther aber nicht so denken, dass er die für abwägbare Medien charakteristische Eigenschaft besitzt, aus zeitlich verfolgbaren Teilen zu bestehen.

Die Idee der Bewegung darf nicht auf sie angewendet werden.

Übersetzt mit DeepL, 2024. Korrektur: The Creator One