

Unterrichtsinhalte zu den philosophischen Aspekten der Relativitätstheorie

1. Aristoteles (384 bis 322 v. Chr.)

„Aristoteles' Physik“, Buch IV, Kapitel 4 und 5 sowie Kapitel 11 bis 14

- Aristoteles Postulate zum Ortsbegriff
 - unmittelbar den Gegenstand Umfassendes
 - kein Teil des umfaßten Gegenstandes
 - unmittelbare Ort sei weder kleiner noch größer als das von ihm umfaßte Ding
 - lasse ein jedes Ding hinter sich und sei von ihm ablösbar
 - enthalte das „oben und unten“ (als seine Arten)
 - es bewege sich jeder Körper von Natur aus zu seinem angestammten Ort und bleibe dort, das tue er entweder oben oder unten
- Bedeutung des Ortsbegriffes für die Physik
 - Weder muß der Ort mitwachsen, noch
 - muß es von Punkt einen Ort geben, noch
 - müssen zwei Körper an demselben Ort sein, noch
 - muß es einen Körper-Zwischenraum geben.
 - Und es ist ein Ort irgendwo, nicht allerdings als an einem Ort, sondern so wie die Grenze an dem Begrenzten; denn nicht „alles Seiende“ ist an einem Ort, sondern nur der der Bewegung fähige Körper.
 - Und, es bewegt sich auch ein jedes zu seinem eigenen Ort hin.
- Zeit und Veränderung
 - Wenn andererseits wir (Veränderung) wahrnehmen und abgrenzend bestimmen und dann sagen, es sei Zeit vergangen, so ist offenkundig, daß ohne Bewegung und Veränderung Zeit nicht ist. Daß somit Zeit nicht gleich Bewegung, andererseits aber auch nicht ohne Bewegung ist, leuchtet ein.
 - Wenn eine Zeit vergangen zu sein scheint, scheint gleichzeitig auch eine bestimmte Bewegung vor sich gegangen zu sein.
 - Aber auch die Zeit erfassen wir, indem wir Bewegungsabläufe abgrenzen, und dies tun wir mittels des „davor“ und „danach“. Und wir sagen dann, daß Zeit vergangen sei, wenn wir von einem „davor“ und „danach“ bei der Bewegung Wahrnehmung gewinnen. Was nämlich begrenzt ist durch ein Jetzt, das ist offenbar Zeit.
 - Denn eben das ist Zeit: Die Meßzahl von Bewegung hinsichtlich des „davor“ und „danach“.
 - Eine Art Zahl ist also die Zeit.
 - Eine Zählung der Fortbewegung stellt ja (nichts anderes als) die Zeit dar. Jetzt aber, ebenso wie das Fortbewegte, ist gewissermaßen eine Einheit der Zahl. Und die Zeit ist also auf Grund des Jetzt sowohl zusammenhängend, wie sie (andererseits) auch mittels des Jetzt durch Schnitte eingeteilt wird. Es ist also die Zeit eine Anzahl.
- Eigenschaften der Zeit
 - Klar ist weiter auch, daß man „schnell“ oder „langsam“ (von der Zeit) nicht aussagen kann, dagegen „viel“ und „wenig“ und „lang“ und „kurz“ wohl.
 - Wir messen nicht bloß Bewegung mittels Zeit, sondern auch (umgekehrt) Zeit mittels Bewegung, weil sie nämlich durch einander bestimmt werden: Die Zeit mißt den Bewegungsablauf, sie ist ja seine (Meß-)Zahl, der Bewegungsablauf

seinerseits (gibt an, wieviel) Zeit (verstrichen ist). Der (Raum-)Größe folgt nach die Bewegung, der Bewegung die Zeit, darin daß sie (alle) „so-und-so-viel“, „zusammenhängend“ und „teilbar“ sind.

Denn an und für sich genommen ist die Zeit Urheberin eher von Zerfall. Da sie Maß von Bewegung ist, so wird sie auch von Ruhe das Maß sein: jede Ruhe findet statt in der Zeit. Es gilt nicht die Entsprechung: Wie das in Bewegung Befindliche notwendig sich bewegen muß, so auch das in der Zeit Befindliche; denn Zeit ist nicht gleich Bewegung, sondern sie ist die Zahl von Bewegung, innerhalb dieser Anzahl von Bewegung kann auch das Ruhende sich befinden.

In-der-Zeit-Sein heißt: Durch-Zeit-gemessen-Werden, die Zeit aber ist Maß von Bewegung und Ruhe.

Was aber die Zeit nie und nirgends umfaßt, das war weder, noch ist es, noch wird es sein.

- Jetzt

Und so hört (die Zeit) also nie auf.

Einmal, gerade, eben, vormals, plötzlich

- Früher und später

Mit „Sich-schnell-Bewegen“ meine ich dies: Was bei gleicher Entfernung und gleichförmiger Bewegung früher zu dem zugrundegelegten (Ende) sich wandelt- ...

Wenn aber nichts anderes von Natur begabt ist zu zählen als das Bewußtsein (des Menschen), und von diesem (besonders) das Verstandesvermögen, dann ist es unmöglich, daß es Zeit gibt, wenn es Bewußtsein (davon) nicht gibt, außer etwa als das, was als Seiendes der Zeit zugrundeliegt, etwa wenn es möglich ist, daß es Veränderungsvorgänge ohne Bewußtsein (davon) gibt. Das „früher-und-später“ ist (wohl Bestimmungsstück) an der Veränderung, Zeit dagegen ist dies (erst), insoweit es zählbar ist.

Die Veränderungsformen sind verschieden und unabhängig von einander, die Zeit aber ist überall dieselbe, weil auch die Zahl der gleichlangen und gleichzeitig ablaufenden (Bewegungen) überall eine und dieselbe ist.

Durch ein mittels Zeit abgegrenztes Bewegungsstück wird von der Bewegung ihr „wieviel“ gemessen, und von der Zeit (dann auch): Wenn nun das ursprüngliche Maß von allem ihm Stammverwandten (gelten soll), dann ist die Kreisbewegung, die gleichmäßige, am allermeisten Maß, weil die Zahl dieser die erkennbarste ist. Eigenschaftsveränderung, Wachsen und Entstehen sind alle nicht gleichmäßig, Ortsbewegung jedoch ist es.

Neben dem Maß erscheint ja nichts anderes an dem Gemessenen mit, außer dem, daß das Ganze eine Mehrzahl von Maß(einheiten) darstellt.

2. Hermes Trismegistus (zweites oder drittes Jahrhundert n. Chr.)

„Corpus Hermeticum“, zweite Rede des Hermes an Asclepius

Alles, was sich bewegt, bewegt sich in etwas und durch etwas. Die Natur dessen, in dem sich etwas bewegt, ist der Natur des Bewegten entgegengesetzt. Der bewegte Kosmos ist eine Körper. Daher ist der Raum unkörperlich. Was aber unkörperlich ist, gehört entweder Gott zu oder es ist Gott selber. Dieses unkörperliche Etwas, das Gott zugehört, muß seiner Natur nach ewige Substanz sein. Der Raum ist nun nicht Gott selber, denn er ist ein Objekt unseres Denkens, während Gott nur Objekt seines eigenen Denkens ist.

Daher ist der Raum die Wirksamkeit einer Kraft, die die Dinge umfängt. Er ist aber nicht das Leere, denn dies wäre Nichts. Also ist er, in dem sich alles bewegt, ganz Geist.

Hier sollen laut Marcus Fierz die Ursprünge Newtons Vorstellung vom absoluten Raum liegen.

3. Galileo Galilei (1564 bis 1642 n. Chr.)

„Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische“, zweiter Tag des Dialoges, Schilderung des Salviati

- Relativitätsprinzip: In Systemen, die sich relativ zueinander geradlinig gleichförmig bewegen, sind die physikalischen Gesetze die selben.

Eine Galilei-Transformation verknüpft die Koordinaten zweier Bezugssysteme, die sich im absoluten Raum und in der absoluten Zeit Newtons bewegen. Es gilt für Geschwindigkeiten, die sehr viel kleiner als die Lichtgeschwindigkeit sind. Hier gilt die Addition der Geschwindigkeiten.

Betrachtet wird z. B.: Das Bezugssystem S ist in Ruhe während sich das Bezugssystem S' an ihm geradlinig gleichförmig vorbei bewegt.

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t$$

$$x = x' + vt, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = t'$$

Das obere Gleichungssystem transformiert die Koordinaten des ruhenden Systems in das bewegte. Das untere Gleichungssystem transformiert die Koordinaten des bewegten System in das ruhende. In beiden Systemen verläuft die Zeit exakt gleich.

4. Isaac Newton (1643 bis 1727 n. Chr.)

„De Gravitatione“

Die Worte Größe, Dauer und Raum sind zu geläufig, als daß man sie durch andere Ausdrücke definieren könnte:

- Der Platz einer Sache ist der Teil des Raumes, den sie genau ausfüllt.
- Ein Körper ist dasjenige was einen Platz ausfüllt.
- Ruhe ist das Verweilen an ein und demselben Platz.
- Bewegung ist der Wechsel des Platzes.

„Philosophiae naturalis principia mathematica“

- Scholium I: Die absolute, wahre und mathematische Zeit fließt in sich und ihrer Natur gleichförmig, ohne jede Beziehung zu irgendetwas außerhalb Liegendem, und man nennt sie mit einer anderen Bezeichnung „Dauer“. Die relative Zeit, die unmittelbar wahrnehmbare und landläufig so genannte, ist ein beliebig sinnlich wahrnehmbares und äußerliches Maß der Dauer, aus der Bewegung genommen (sei es ein genaues oder ungleichmäßiges), welches man gemeinhin anstelle der wahren Zeit benützt, wie Stunde, Tag, Monat, Jahr.
- Scholium II: Der absolute Raum, der aufgrund seiner Natur ohne Beziehung zu irgendetwas außer ihm existiert, bleibt sich immer gleich und unbeweglich. Der relative Raum ist dessen Maß oder ein beliebiger veränderlicher Ausschnitt daraus, welcher von unseren Sinnen durch seine Lage in Beziehung auf Körper bestimmt wird, mit dem gemeinhin anstelle des unbeweglichen Raumes gearbeitet wird. ... Der absolute und relative Raum sind von Art und Größe gleich, aber sie bleiben nicht immer das Gleiche. Bewegt sich z. B. die Erde, so wird der Raum der Atmosphäre, der relativ zur Erde und im Hinblick auf sie immer derselbe bleibt, einmal ein bestimmter Teil des absoluten Raumes, in den die Atmosphäre eintritt, ein andermal ein anderer Teil davon sein, und so wird er sich, absolut gesehen, beständig ändern.

- Scholium III: Ort ist derjenige Teil des Raumes, den ein Körper einnimmt, und er ist je nach dem Verhältnis des Raumes absolut oder relativ. Er ist ein Teil des Raumes sage ich, nicht die Lage des Körpers oder ein ihm umgebende Oberfläche. ...
- Scholium IV: Die absolute Bewegung ist die Fortbewegung eines Körpers von einem absoluten Ort zu einem absoluten Ort, die relative die Ortsveränderung von einem relativen Ort zu einem relativen. ...
- zur Zeitmessung: Die absolute Zeit wird in der Astronomie von der relativen durch eine Verstetigung des landläufigen Zeitbegriffs unterschieden. Die natürlichen Tage, die man allgemein für passend hält, um damit die Zeit zu messen, sind nämlich ungleich. Diese Ungleichheit korrigieren die Astronomen, damit sie die Himmelsbewegungen aufgrund einer richtigeren Zeit messen können. Es ist möglich, daß es keine gleichförmige Bewegung gibt, durch die die Zeit genau gemessen werden kann. Alle Bewegungen können beschleunigt oder verzögert sein; aber der Fluß der absoluten Zeit kann sich nicht ändern.
- Relativitätsprinzip: Körper, welche in einem gegebenen Raum eingeschlossen sind, haben dieselbe Bewegung unter sich, dieser Raum mag ruhen oder sich gleichförmig geradlinig nicht aber im Kreise fortbewegen.

Eimerexperiment:

Ursache für konkave Wölbung des Wassers, kann nicht die Bewegung relativ zum Eimer sein, denn die Wölbung ist am größten, wenn die Relativgeschwindigkeit am kleinsten ist. Deshalb ist es eine absolute Rotation des Wassers in Bezug auf einen absoluten Raum.

Der absolute Raum wirkt wohl auf das Wasser im Eimer ein, umgekehrt gibt es keine Wirkung. Es gibt also keine Wechselwirkung zwischen Raum und Materie. Diese wird erst in der allgemeinen Relativitätstheorie beschrieben.

Kritik von Leibniz:

Raum und Zeit existieren nicht von sich aus, sondern nur als Beziehung zwischen materiellen Körpern.

Kritik von Mach:

Newtons absoluter Raum widerspricht seinem Wechselwirkungsprinzip:

Die Trägheit eines Körpers ist eine Maß für seinen Widerstand gegen Beschleunigung relativ zum absoluten Raum und deshalb von einer Wirkung des absoluten Raum auf den Körper herrühren muß.

Es gibt keine Wirkung des Wasser auf den absoluten Raum.

Trägheit des Körpers beruht auf dessen Wechselwirkung mit der übrigen Materie des Universums. Die konkave Wölbung war Folge der Rotation relativ zu den anderen Massen des Universums. Die konkave Wölbung würde auch entstehen, wenn sich der Rest des Universums um das Wasser drehte.

5. Hendrik Antoon Lorentz (1853 bis 1929 n. Chr.)

„Elektromagnetische Erscheinungen in einem System, das sich mit beliebiger, die des Lichtes nicht erreichende Geschwindigkeit bewegt“

Die Lorentz-Transformation wird auf die elektromagnetische Erscheinungen angewandt.

Betrachtet wird z. B.: Das Bezugssystem S ist in Ruhe während sich das Bezugssystem S' an ihm geradlinig gleichförmig vorbei bewegt.

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} (x - vt), \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left(t - \frac{vx}{c^2} \right)$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} (x' + vt'), \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left(t' + \frac{vx'}{c^2} \right)$$

Das obere Gleichungssystem transformiert die Koordinaten des ruhenden Systems in das bewegte. Das untere Gleichungssystem transformiert die Koordinaten des bewegten System in das ruhende. In die Gleichungen der Galilei-Transformation wird eine lokale Zeit $\frac{vx}{c^2}$ eingeführt.

1887 hatte W. Voigt eine sehr ähnliche Transformation benutzt. Bereits 1898 hatte Joseph Larmor diese Lorentz-Transformation angewandt.

Beispiele zur Transformation für gleichförmige Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit.

6. Albert Einstein (1879 bis 1955 n. Chr.)

Die Lorentz-Transformation wird auf die ganze Physik angewandt.

Relativitätstheorie für geradlinig gleichförmige Bewegungen

„Zur Elektrodynamik bewegter Körper“

- Relativitätsprinzip: Die Gesetze, nach denen sich die Zustände der physikalischen Systeme ändern, sind unabhängig davon, auf welches von zwei relativ zueinander in gleichförmiger Translationsbewegung befindlichen Koordinatensystemen diese Zustandänderungen bezogen werden.
- Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit: Jeder Lichtstrahl bewegt sich im „ruhenden“ Koordinatensystem mit der bestimmten Geschwindigkeit V , unabhängig davon, ob dieser Lichtstrahl von einem ruhenden oder bewegten Körper emittiert ist.

Mithilfe einer Lichtuhr in einem Gedankenexperiment und dem Pythagoras lassen sich die Zeitdilatation und die Längenkontraktion erklären. Betrachtet wird z. B.: Das Bezugssystem S ist in Ruhe während sich das Bezugssystem S' an ihm geradlinig gleichförmig vorbei bewegt.

Zeitdilatation

Aus der Sicht des einen Systems erscheint die Zeit im anderen System langsamer zu vergehen.

$$t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} t \quad \text{Hier aus der Sicht des ruhenden Beobachters.}$$

Längenkontraktion

Aus der Sicht des einen Systems erscheint die Länge im anderen System kürzer zu sein.

$$l' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} l \quad \text{Hier aus der Sicht des ruhenden Beobachters.}$$

Struktur der Raumzeit: Lichtkegel

Beispiel: zwei Raumschiffe und ein Stern

Zeitreisen

Gravitation und Geometrie: Gravitation sagt dem Raum wie er sich krümmen soll.

7. asdf