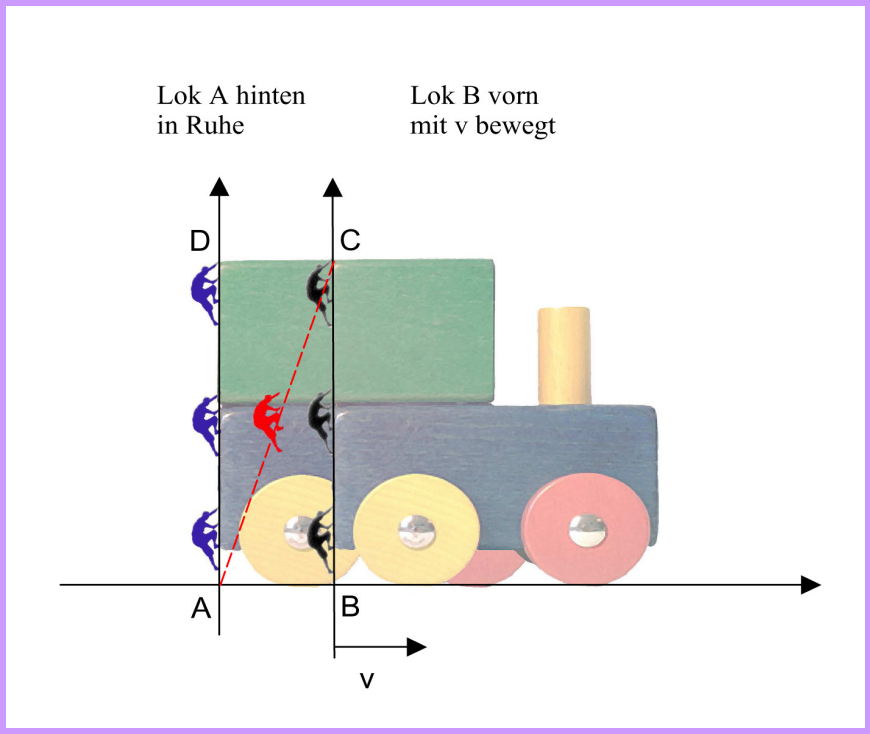
Klaus Gebler

Die Lichtuhr im Dunkel der Mathematik

Gedanken eines Lichtuhrmachers zur Relativitätsphysik

Inspiriert vom Jahr des Lichts 2015



Die Kletterer am ruhenden wie am bewegten Zug bewegen sich immer senkrecht zur Fahrtrichtung nach oben.
- Aber ich sehe doch einen schräg klettern! -
Kind, überlege selbst: Dann würde er ja nicht senkrecht zur Fahrtrichtung klettern. Du projizierst nur den mit v nach rechts bewegten Kletterer auf einen ruhenden Hintergrund. Solche Projektionsphänomene irritieren auch Erwachsene. Ist nicht schlimm.

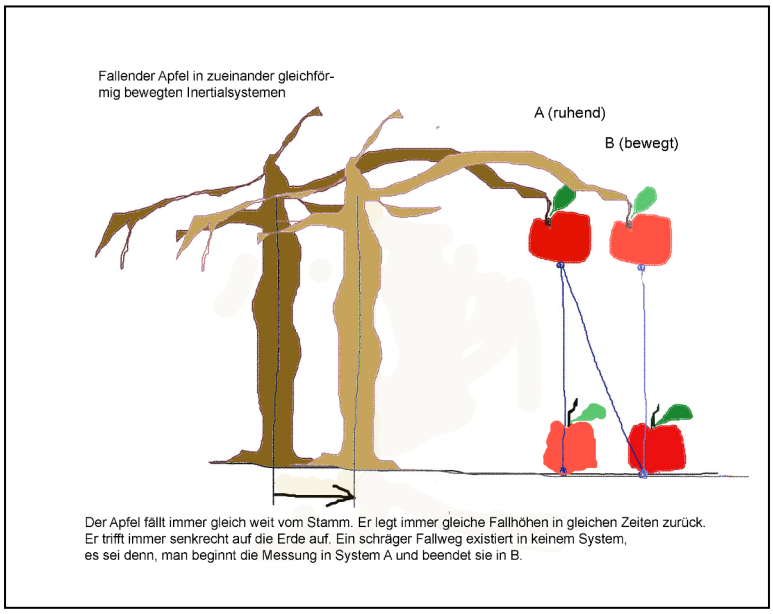
© Klaus Gebler, 2015
Autor, Gestaltung, Collagen, Grafiken: Klaus Gebler
Bildnachweis:
5/ 2.) Landau/Rumer, Was ist die Relativitätstheorie? Leipzig 1972
6/ 1.), 5.) Padelt, Menschen messen Zeit und Raum, Berlin 1971
6/ 2.) Brockhaus
6/ 3.), 4.) De Caus, Wikipedia
7/ 1.) Metzler Physik Kl. 12/13
7/ 2.) Gebler
9/ 1.) Diogenes, Wikipedia
9/ 9.), 10.) Briefmarken Internationales Jahr des Lichts, Wikipedia

Die „Gedanken eines Lichtuhrmachers zur Relativitätsphysik“ wurden von einem Mathematik/Physiklehrer i. R. aufgeschrieben, der die widersprüchlichen Behauptungen der Relativitätsphysik entwirren und logisch ordnen wollte. Die üblichen Lehrbucherklärungen stießen bei Schülern und Lehrer zunehmend auf Skepsis und Argumente, die in den Akademien längst jenseits jeder Diskussion stehen. Das Internationale Jahr des Lichtes 2015 inspirierte zur Niederschrift des in Jahrzehnten angesammelten Materials und der daraus entwickelten Gedanken.

Die Schrift steht als PDF zur nichtkommerziellen Nutzung bereit unter
www.klaus-gebler.de

I. Über Grundprinzipien

Die Relativitätstheorie ist zu einer Art Philosophie der Physik geworden, die den Gesetzen der Philosophie gehorcht, nicht denen der Physik. Die philosophischen Grundsätze entziehen sich jeder physikalischen Kritik, so dass seit 110 Jahren ein schizophrener Zustand diese Relativitätsphysik bestimmt. Einerseits gibt es plausible Prinzipien (Relativitätsprinzip, Konstanz der Lichtgeschwindigkeit), andererseits führt die darauf gegründete Physik zu absurden Folgerungen (Zeitdehnung, Längenkontraktion), die nur administrativ für wahr erklärt und zur Lehrmeinung gemacht werden können. Die Prinzipien sind allgemeine Sätze, die ihre Wahrheit erst in der Anwendung auf konkrete Sachverhalte erhalten. Über „Konstanz der Lichtgeschwindigkeit“ *physikalisch* zu reden macht erst Sinn, wenn vom komplexen Gegenstand „Licht“ klar ist, welche Bewegung gemeint ist: Front? Phase? Usw.
Dieses Gemenge aus „Grundprinzipien“, „Beobachtungen“ und daraus abgeleiteten „Erkenntnissen“ etwas zu entwirren, soll im folgenden versucht werden.



Der Apfel symbolisiert die Ursünde der Relativitätsphysik:
Das Relativitätsprinzip erlaubt zwar die Auswahl eines beliebigen Inertialsystems zur Ableitung der Fallgesetze, nicht aber den Beginn der Messung im System A (ruhend) und das Ende der Messung im System B (relativ zu A bewegt).

Wenn sich nur eines der zu Grunde gelegten Prinzipien einer Theorie als unkorrekt erweist, wird die Theorie hinfällig. „Wenn eine einzige aus ihr geschlossene Konsequenz sich als unzutreffend erweist, muss sie verlassen werden.“ (Einstein)
Die Relativitätstheorie baut versuchsweise auf drei Prinzipien und zeigt, dass eines zwingend abzuändern ist.

1. „Im leeren Raum ist die Lichtgeschwindigkeit stets konstant. Sie hängt weder von der Bewegung der Lichtquelle noch von der des Beobachters ab.
2. In zwei gleichförmig gegeneinander bewegten Systemen herrschen genau dieselben Naturgesetze. Es gibt keine Möglichkeit, eine absolute gleichförmige Bewegung zu konstatieren.
3. Positionen und ***Geschwindigkeiten*** werden gemäß der klassischen Transformation von einem Inertialsystem in ein anderes übertragen.“

(Einstein, Evolution der Physik)

Da nach dem ersten Prinzip die Lichtgeschwindigkeit unveränderlich ist, entsteht ein Widerspruch zum dritten Prinzip: Die Lichtgeschwindigkeit könne nicht klassisch transformiert werden, sie hätte ja nach der Transformation einen anderen Wert („man denke nur an den Mann, der sich relativ zum Schiff bzw. zur Küste bewegt“ Einstein).

Einsteins Vorschlag, die ersten beiden Prinzipien zu akzeptieren und das dritte „einfach fallen zu lassen“ fand Max Planck so gut, dass er kraft seiner Ämter diesen Umsturz in der Physik weitsichtig organisierte und sämtliche absurd scheinende Konsequenzen daraus zu neuen Naturgesetzen erhob (z. B. Zeitdilatation).

Einstein meinte den Widerspruch zu lösen, indem er die „klassische Transformationsvorschrift“ so abänderte, dass nicht die physikalische Messgröße bei der Transformation geändert wurde, sondern die Transformation selbst. Das ist neu. Jetzt blieb die Messgröße c konstant, transformierte Zeiten bzw. Längen hingegen wurden verändert. Nun passte alles wieder. Ob das passend Gemachte auch stimmte, d. h. ob es auch Naturgesetzen entsprach, war nicht Gegenstand der (Physiker-) Diskussion. Es handelte sich dabei um eine reine Koordinatentransformation, wo ein drei Meter langer Stab, in Längsrichtung bewegt, auf zwei Meter zu kontrahieren scheint, weil man ***die Einheitslänge*** der Systemachsen im Verhältnis 2 : 3 „kontrahiert“ hat. Es erinnert an den Preußenkönig, der 1804 die Postmeile so ummessen ließ, „... dass man 4 Meilen reiste, aber 7 bezahlte ...“ Wirklicher Reiseweg bzw. physikalische Stablänge bleiben von solcher Mathematik unberührt.

Mathematisch ist an solcher Transformation nichts auszusetzen, die Frage ist nur, ob dadurch Naturereignisse adäquat beschrieben werden: Wird der bewegte Stab tatsächlich kürzer? Bleibt der reisende Zwillingsbruder tatsächlich jünger gegenüber dem zu Hause gebliebenen? Kurz: Kann eine abstrakte Datentransformation so gravierenden Einfluss auf Naturobjekte haben? Und: Ist das noch Naturwissenschaft?

Einwände:

1. Das übergeordnete Prinzip „Einheit der Physik“ verbietet gesonderte Transformationen für dieses oder jenes Phänomen. Die SRT ist einer Verlegenheit geschuldet, nicht einem in sich stimmigen zwingenden Konzept, das einem einheitlichen Anspruch gerecht wird.
2. Das 3. Prinzip verlangt die Transformation von Positionen und *Geschwindigkeiten* anstelle von Raum- und *Zeit*koordinaten. Hier liegt eine Quelle von Missverständnissen: Geschwindigkeiten und zurückgelegte Wege sind bei Galileitransformationen relativ, Strecken und Zeiten hingegen invariant. Eine universelle Transformation sollte deshalb einheitlich mit nur drei Raum- und einer Zeitkoordinate auskommen. Damit entfallen als Fehlerquelle sämtliche Geschwindigkeitsangaben (das heißt Vermischung von realen Geschwindigkeiten in der Natur mit mathematisch beliebig großen Relativgeschwindigkeiten entfällt: Leere Koordinatensysteme müssen sich nicht an ein Tempolimit halten). Geschwindigkeiten können bei Bedarf für jedes System aus Raum- und Zeitkoordinaten nachträglich berechnet werden.
3. Damit entfällt auch das erste Prinzip, das der Lichtgeschwindigkeit einen besonderen Status zuordnet. (Es wird zu zeigen sein, dass sämtliche Geschwindigkeiten in der Natur denselben Status haben.)

Dann bleiben zwei Grundprinzipien übrig, die allerdings ohne Relativitätstheorie auskommen:

1. In zwei gleichförmig gegeneinander bewegten Systemen herrschen genau dieselben Naturgesetze.
2. Positionen und ***Zeiten*** werden gemäß der klassischen Transformation von einem Inertialsystem in ein anderes übertragen.

2. Visuelle und mathematische Transformationen

Das Bild eines Objekts wird von den Lichtstrahlen erzeugt, die gleichzeitig in das Auge oder in die Kamera gelangen. Wegen der endlichen Lichtgeschwindigkeit werden diese Lichtstrahlen bei einem ausgedehnten Objekt aber nicht gleichzeitig emittiert. Dies führt bei einem bewegten Objekt zwangsläufig zu einem veränderten Aussehen. Erstaunlicherweise wurden diese Effekte erst über 50 Jahre der Aufstellung der Speziellen Relativitätstheorie und fast 300 Jahre nach dem Beweis der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit korrekt beschrieben.

Die Überlegungen zum Aussehen relativistisch bewegter Objekte begannen damit, dass diese Frage nicht gestellt, sondern vielmehr übersehen wurde. Man formulierte, dass aufgrund der Lorentz-Kontraktion ein bewegtes Objekt in Bewegungsrichtung verkürzt sei, oder auch, dass es verkürzt erscheine und von dort war es nur ein kleiner Schritt bis zu der Vorstellung, dass es verkürzt aussehe. Dabei wurde ***nicht beachtet, dass die Lorentz-Kontraktion das Ergebnis einer Messung*** *[*]* ***ist und dass sich eine visuelle oder photographische Beobachtung von einer Messung ganz wesentlich unterscheidet.***

Aussehen relativistisch bewegter Objekte
J. Kern U. Kraus B. Lehle R. Rau H. Ruder
Praxis der Naturwissenschaften Physik, Heft 2/1997, S. 2-6

* „Messung“ sollte durch „passende mathematischen Vorschrift“ ersetzt werden, denn gemessen wird hier nicht.

Warum wurde dieser so fundamentale Unterschied so spät bemerkt?
Sonst wäre wohl aufgefallen, dass die ganze SRT auf Beobachtungen (also visuellen bzw. optischen Effekten) beruht, die sich von rein mathematischen Umrechnungen unterscheiden. Formulierungen der SRT wie "Aus Sicht von ruh. bzw. bewegten Beobachter ..." ist optische Argumentation, nicht mathematische. Und dass die "korrekte" optische Sicht, mit Computersimulationen dargestellt, die Wirklichkeit verzerrt, ist augenscheinlich. Diese optischen Verzerrungen, wie sie von einer Kamera dokumentiert werden kann, entsprechen nicht einmal jenen der SRT, z. B. Längenkontraktion eines Stabes. Wir unterscheiden also

1. Physikalische Stablänge (direkter Vergleich mit einem Maßstab),
2. Visuelle Stablänge (Projektion des Stabes mittels optischer Gesetze) und
3. Relativistische Stablänge (mathematisch konstruiert aus physikalischer und visueller Stablänge).

Mathematische Umrechnungen von Koordinaten hantieren mit Strecken und Zeiten. In die relativistische Sicht gehen zusätzlich Winkel, Perspektiven und Lichteigenschaften ein, die lediglich der „Sichtbarmachung“ einer Transformation geschuldet sind und optische Gesetze mit Transformationsgesetzen verknüpfen. Statt der angestrebten „anschaulichen“ Transformation erhalten wir im Ergebnis Paradoxien, und die armen Zwillinge, von denen einer viel reist, können ihre Geburtstage nicht mehr im selben Jahr feiern.

Diese Unterschiede werden bis heute weitgehend ausgeblendet. Noch immer soll die unterschiedliche "Sicht" des ruhenden bzw. bewegten Beobachters beweisen, dass Gleichzeitigkeit systemabhängig sei: Jedes Inertialsystem habe seine eigene Zeit. Nähme man diese „Erkenntnis“ aus der SRT heraus, würde die relativistische Physik gegenstandslos.

03. Die asymmetrische Symmetrie durch Lorentztransformation

Einsteins Interesse hatte sich an der Frage entzündet, warum die mechanischen Gesetze in jedem Inertialsystem gelten, also symmetrisch sind, die elektrodynamischen Gesetze aber nicht. Anders gesagt: In der klassischen Mechanik galt das Relativitätsprinzip uneingeschränkt, in der Elektrodynamik hingegen gab es Widersprüche bzw. Asymmetrien.
Einstein nennt das Beispiel der Relativbewegung von Magnet und Leiter. Maxwell hatte die Gesetze der Elektrodynamik noch in einem absoluten, das heißt vor anderen privilegierten Bezugssystem formuliert. Danach sollte es einen Unterschied machen, ob der Magnet bewegt ist und der Leiter ruht oder umgekehrt. Solche Asymmetrie zeigten die Experimente aber nicht, nur die Relativbewegung zwischen Magnet und Leiter sind für die Induktion von Belang. Wenn aber Stromfluss allein von der Relativbewegung abhängt, so sollten doch die Zusammenhänge zwischen elektrischen und magnetischen Feldern auch symmetrisch sein. Einstein wollte das Relativitätsprinzip ausdehnen auch auf die Elektrodynamik: „... Vermutung, dass dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern dass vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten ..."

Das Problem stand auf der Tagesordnung, und Einstein schlug mit der SRT eine Lösung vor. Doch allein mit der Ausrufung der Gültigkeit des Relativitätsprinzips auch für die Elektrodynamik war es nicht getan. Damit war zwar tatsächlich die Symmetrie hergestellt und elektromagnetische Phänomene konnten in allen relativ zueinander gleichförmig bewegten Inertialsystemen gleichberechtigt beschrieben werden, doch es gab da noch die merkwürdige Sache mit der „Konstanz der Lichtgeschwindigkeit". Wie sollte man Koordinaten zwischen relativ zueinander bewegten Systemen transformieren, wenn zur Lichtgeschwindigkeit nicht die Relativgeschwindigkeit addiert werden darf?
Das war der springende Punkt, der die Mechanik von der Elektrodynamik zu unterscheiden schien.
Jetzt war die Frage: Handelte es sich tatsächlich um eine der Natur eigene Asymmetrie, dann wäre diese auch nicht durch kluge Theorien zu übertünchen: Naturbeschreibung soll ja gerade die Eigenschaften der Natur offen legen. Oder handelte es sich nur um eine scheinbare Asymmetrie, die durch ungerechtfertigte Prinzipien bzw. Fehlinterpretation von Messergebnissen zustande gekommen war.
Einstein vermutete ein falsches Transformations-Prinzip (Galilei) als Ursache der Schwierigkeiten und führte ein neues (Lorentz) ein.
Damit schien formal die Symmetrie zwischen relativ zueinander bewegten Systemen hergestellt, doch damit war eine andere unbefriedigende Asymmetrie eingeführt. **Die SRT beschrieb zwar jetzt Mechanik und Elektrodynamik mit gleichen Prinzipien, aber die Ergebnisse der neuen Universal-Theorie waren nicht mehr symmetrisch zu den Ergebnissen der „alten" Mechanik bzw. Elektrodynamik.** Ein Stab konnte beliebige Längen annehmen, Zeiten dehnten sich als Folge von Relativgeschwindigkeiten usw. Man hatte die Asymmetrien lediglich verlagert, nicht aber beseitigt.

Die bis heute quälende Frage ist, ob diese neue Asymmetrie beseitigt werden kann oder ob sie prinzipieller Natur ist. Bis eine „prinzipielle Natur“ nicht hinreichend belegt werden kann, bleibt die Suche nach einer Beseitigung solch unbefriedigender Asymmetrie legitim.
Wenn man schon von der Symmetrie in der Natur überzeugt ist und nach Fehlerquellen in der theoretischen Naturbeschreibung sucht, so müssen sämtliche Schwachstellen auf den Prüfstand. Einstein hat das Transformationsproblem als Fehlerquelle untersucht und zu lösen versucht. Unglücklicherweise ist dieser erste zaghafte Versuch eines jungen Mathematiklehrers ohne die harte Prüfung durch die Wissenschaftlergemeinde sogleich zur Lehrmeinung erklärt worden. Planck hielt sofort Vorlesungen dazu, Max von Laue wurde sofort zum Schreiben eines ersten Lehrbuches beauftragt („so gut habe ich es nie wieder getroffen“ schwärmt dieser später von dieser Zeit am Starnberger See) und die erste und einzige öffentliche Diskussion fand erst 15 Jahre nach Veröffentlichung in Bad Nauheim statt und dauerte 15 Minuten. Dann rief Planck die Mittagspause aus, und danach war Einstein abgereist. So blieben sämtliche anderen Fehlerquellen unbeachtet, obwohl viele kluge Köpfe alternative Lösungsvorschläge machten.

Am Anfang für eine seriöse Suche nach Fehlerquellen beim Symmetrieproblem steht die Analyse des für wahr genommenen heutigen Wissensstandes. Dabei sollten mathematisch-logische Fehler und fehlerhafte Interpretation physikalischer Experimente gleichermaßen in Erwägung gezogen werden.

1. Wenn einzig die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zur Lorentztransformation geführt hat, so ist zu fragen: In welchem physikalischen Sinne ist c = konst.? Wie unterscheidet sich Licht von anderen transversalen mechanischen Wellenbewegungen? Gilt da nicht auch $c = \lambda/T$? Ist da nicht auch bei bewegter Quelle die Ausbreitungsgeschwindigkeit konstant? Was änderte sich an Einsteins Blitz-Einschlag-Bahnsteig-Zug-Experiment, wenn Lichtwellen durch Wasserwellen ersetzt würden (Pfütze auf Bahnsteig, Pool im Zug)? Wenn aber kein Unterschied ist, wozu dann eine besondere Transformation? Ist vielleicht die „Konstanz der Lichtgeschwindigkeit“ nur theoretisch falsch interpretiert worden, so dass der ganze Aufwand SRT umsonst war?
2. Ist der Begriff „Transformation“ hinreichend definiert, so dass er einheitlich gebraucht werden kann? Wird in der SRT mathematische Koordinaten-Transformation invarianter Größen (Zeit, Strecke) unterschieden von visuellen Projektionen, in denen Winkel, Objekt-Geschwindigkeiten usw. hinzukommen?
3. Wie legitim ist es, zur theoretischen Lösung eines Problems Transformationen zu definieren, deren Ergebnisse nicht mit Naturobjekten bzw. Ereignissen symmetrisch sind? Nicht ein einziges Experiment konnte bisher überzeugend voraus gesagte Effekte der SRT betätigen. Und wenn angeblich im Teilchenbeschleuniger die Zeitdehnung beim Myonenzerfall so eindeutig bewiesen worden wäre – warum ist es bei diesem einzigen Experiment geblieben? In der Experimentalphysik braucht es immer von unabhängigen Forschergruppen durchgeführte Bestätigungsversuche. Und: warum dürfen geladene Teilchen (Myonen), die von starken Magnetfeldern auf eine Kreisbahn gezwungen werden, als kräftefreie Inertialsysteme gelten?

Übrigens: Die Lorentz-Kontraktion ist Ergebnis einer rein mathematischen Koordinaten-Transformation zum Zwecke der Beseitigung einer Asymmetrie. Man kann genau so gut klassisch transformieren und erhält keine Verkürzung. Das setzt allerdings Klarheit zur „Konstanz der Lichtgeschwindigkeit“ voraus.

04. Was heißt Konstanz der Lichtgeschwindigkeit?

Einstein macht ein Gedankenexperiment, notiert die in Gedanken gemachten Beobachtungen und leitet daraus die fundamentale Erkenntnis ab: „Zwei Ereignisse, die in einem System gleichzeitig sind, brauchen in einem anderen nicht gleichzeitig zu sein."

Einsteins Experimentieranordnung besteht aus einer bewegten Kabine mit je einem In
nen- und Außenbeobachter. Von der Mitte der Kabine geht je ein Lichtsignal in Richtung Vorder- bzw. Rückwand aus.
Die Messgeräte sind durch die mittig außen und innen postierten Beobachter repräsentiert. Ihre Aufgabe ist es festzustellen, ob die Signale jeweils gleichzeitig oder ungleichzeitig die Wände vorn und hinten erreichen.
Für das verwendete Messmittel „Licht" setzt er nur voraus, dass es sich von der Quelle mit konstanter Geschwindigkeit in alle Richtungen ausbreitet, unabhängig von der Quellengeschwindigkeit. Offensichtlich wird davon ausgegangen, dass das Experimentierlicht punktförmig ist bzw. ein Punktmodell für die Aufgabenstellung hinreichend sei. Wellenphänomene werden nicht erwähnt.
Einstein fasst Beobachtungen und Schlussfolgerungen so zusammen:

Innenbeobachter:
„Das vom Mittelpunkt der Kabine ausgehende Lichtsignal wird die Wände *gleichzeitig* erreichen, da sie alle gleich weit von der Lichtquelle entfernt sind und die Lichtgeschwindigkeit in allen Richtungen gleich groß ist."
Das ist unstrittig.
Außenbeobachter:
... ich sehe ein Lichtsignal, das sich mit einer in allen Richtungen gleichen Normalgeschwindigkeit ausbreitet. Eine Wand ist bestrebt, vor dem Lichtsignal ‚davonzulaufen', während die entgegengesetzte Wand es einzuholen sucht. Folglich wird die entweichende Wand ein wenig später als die nachrückende von dem Lichtsignal getroffen."
Damit erhält Einstein ein „... Ergebnis, das den scheinbar so wohlfundierten Begriffen der klassischen Physik diametral entgegengesetzt ist."
Ein schlichtes Gedankenexperiment, zwei in Gedanken ausgeführte Messungen aus relativ zueinander bewegten Systemen und Schlussfolgerungen aus zwei unvereinbar scheinenden Messergebnissen führten sofort zu einer Revolution der klassischen Physik. Ausgangspunkt war das scheinbar „experimentell gesicherte" Phänomen der relativen Gleichzeitigkeit für relativ gegeneinander bewegte Systeme.
Da Licht als Welle einen wesentlich komplexeren Gegenstand darstellt als ein Lichtpunkt („Blitz", „Signal" usw.), sei untersucht, ob die mit dem einfachen Punktmodell gemachten Erkenntnisse gleichermaßen auch mit dem Wellenmodell zu erreichen sind. Damit wäre auszuschließen, dass ein zu einfaches Modell wesentliche Details eliminiert hätte, deren Beachtung zu anderen Ergebnissen führen würden.

„Konstanz der Lichtgeschwindigkeit" im Wellenmodell
Da dieser Begriff mittlerweile unterschiedlich interpretiert wird, legen wir den weiteren Betrachtungen Einsteins Formulierung aus seiner Originalarbeit „Zur Elektrodynamik bewegter Körper" zugrunde:

„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."
Diese Formulierung erwähnt nur ein „ruhendes" System, in dem eine Lichtquelle von einem ruhenden oder bewegten Körper Licht aussendet. Der Begriff „Lichtstrahl" wird nicht näher definiert: Handelt es sich um einen einzigen Lichtpunkt, dessen gerichtete Bewegung von der Quelle aus als Strahl bezeichnet wird oder ist eine Folge von Lichtpunkten gemeint, die in ihrer Gesamtheit mit konstanter Länge den Raum durcheilt.
Es soll im folgenden ein einzelner abgestrahlter Lichtpunkt und eine Halbwelle als der kleinsten „abstrahlbaren" Einheit von einem Dipol (als Quelle elektromagnetischer Wellen) verglichen werden. Da Dipole die Verhältnisse bei der Erzeugung und Abstrahlung elektromagnetischer Wellen experimentell gut im Makrobereich zeigen, sind Gedankenexperimente im Prinzip nicht erforderlich.

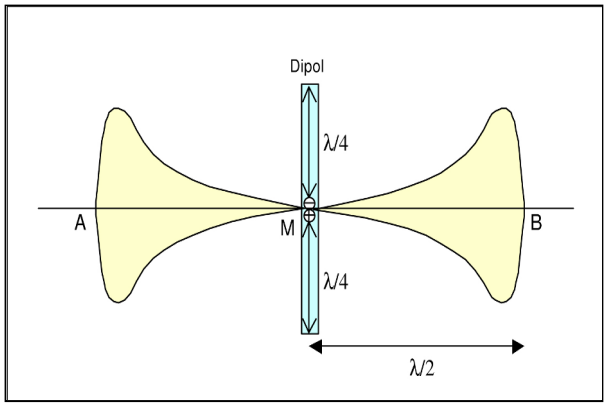


Bild 1.a) Im ruhenden System wird vom Dipol eine Welle abgestrahlt, deren Fronten in der Zeit T/2 die Strecke λ/2 mit c zurücklegen und A bzw. B gleichzeitig erreichen. Das senkrecht schwingende elektromagnetische Feld im Dipol wandelt sich dabei in ein Raumfeld um, das sich nach T/2 abschnürt. Der Vorgang wiederholt sich für die 2. Halbwelle wiederum von M aus mit umgekehrter Feldrichtung.

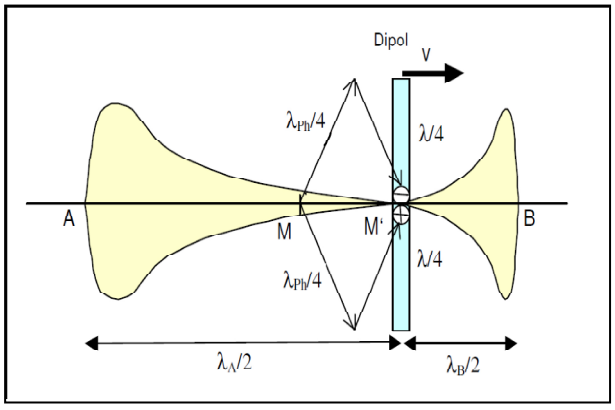


Bild 1.b) Im ruhenden System läuft ein Dipol mit der Geschwindigkeit v zur Zeit t = 0 durch M, wobei eine Dipolschwingung beginnt. Die Fronten beginnen in diesem Moment mit c die Strecken MA bzw. MB zu durchlaufen und erreichen nach T/2 gleichzeitig die Punkte A und B. Die Abschnürung der Halbwelle erfolgt um MM' = vt verschoben, da sich der Dipol in T/2 um diese Strecke mit v bewegt hat. Der Vorgang wiederholt sich für die 2. Halbwelle von M' aus (also um MM' verschoben) mit umgekehrter Feldrichtung.

Auswertung:

1. Punkte auf der Wellenfront starten bei M und erreichen nach T/2 in beiden Systemen gleichzeitig A bzw. B, wobei AB = λ. Die Frontgeschwindigkeit c ist unabhängig von der Quellenbewegung.
2. Die Fronten der 2. Halbwelle starten im bewegten System um MM' verschoben bei M' und erreichen nach T in beiden Systemen zwei um 2λ voneinander entfernte Punkte C bzw. D.
3. Betrachten wir Dipol (Quelle) und Raumfelder hinsichtlich der Frontgeschwindigkeit im Zusammenhang, sind keine Unterschiede zwischen den Messungen im Ruhsystem bzw. im bewegten System festzustellen.

Auch das Wellenbild repräsentiert widerspruchsfrei das Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, wenn wir uns auf Frontpunkte der Welle beschränken.

Quelle von Missverständnissen bei dem Begriff „Gleichzeitigkeit"

Aufgabenstellung des Experiments war die Überprüfung des Prinzips von der „Konstanz der Lichtgeschwindigkeit" nach der Einsteinschen Formulierung (siehe oben).

Dazu wurde in einem ruhenden Labor die Frontgeschwindigkeit einer ruhenden und einer bewegten Quelle bei identischem Startpunkt verglichen (siehe Bild 1a und 1b). Im Ergebnis gab es keinen Widerspruch zum theoretisch formulierten Prinzip. Darüber hinausgehende Untersuchungen („Beobachtungen“) mit zusätzlichen Schlussfolgerungen wurden nicht gemacht. So wurde z. B. das Verhalten weiterer bewegter Objekte (Kastenwände) unberücksichtigt gelassen, da es für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit unerheblich ist.
Auf der Basis gesicherter Erkenntnisse zur Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ist jetzt noch eine zweite Problematik zu untersuchen:

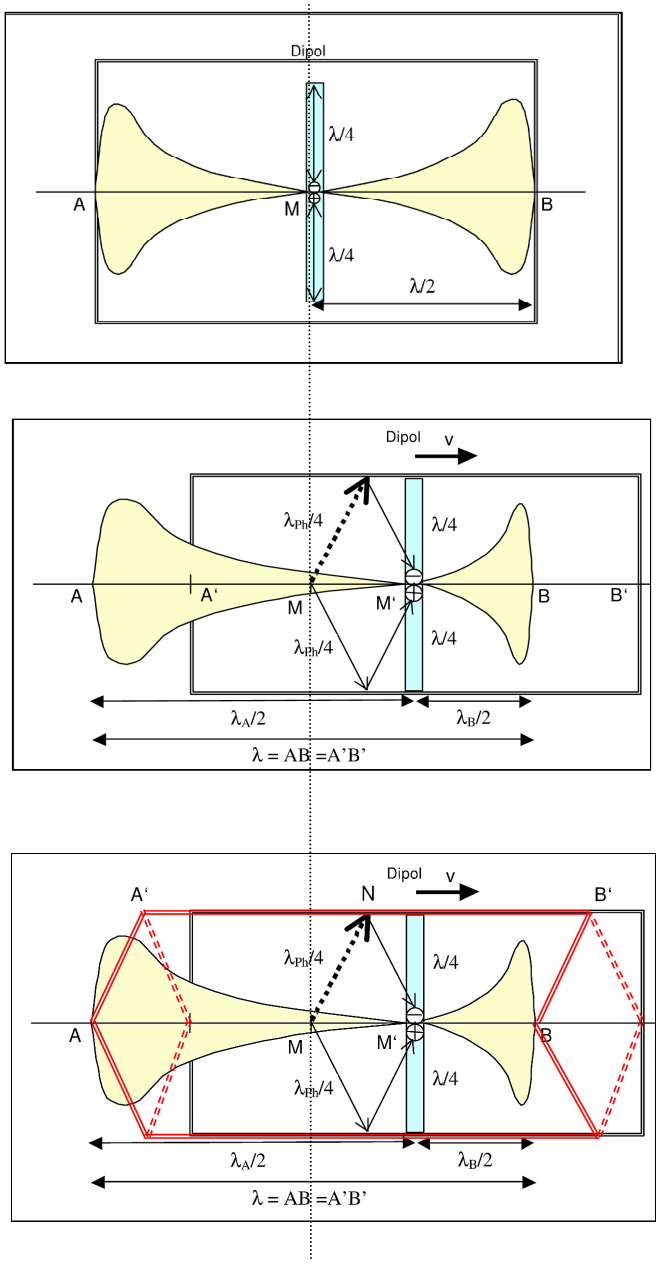


Bild 2.a)
Im Ruhsystem ist mit M der Koordinatenursprung gegeben, der Bezugspunkt für die Frontbewegung ist, von dem aber auch der Abstand zu Vorder- bzw. Rückwand gemessen wird.
Die Signale erreichen gleichzeitig Vorder- bzw. Rückwand.

Bild 2.b)
Auch im bewegten System ist M der Bezugspunkt für die Frontbewegung, nicht aber (nach Einstein) für die Wandabstände zu M. Beide Funktionen fallen auseinander, da der Quellpunkt (für die erste Halbwelle) fest im Ruhsystem bleibt, während der Kasten (Wände plus Dipol) nach rechts eilt.
Die Signale erreichen „augenscheinlich“ ungleichzeitig Vorder- bzw. Rückwand.

Bild 2.c)
Beim bewegten Dipol startet nur der Frontpunkt der ersten Halbwelle bei M, so dass sich dieser Punkt verhält, als wäre er von einer ruhenden Quelle (v = 0) gestartet. Für ruhendes wie bewegtes System treffen die Signale bei A bzw. B gleichzeitig ein. Die Dipolladungen (Felder) schwingen senkrecht bzw. parallel zu Vorder- und Rückwand. Durch die Bewegung mit v werden scheinbar schräge Ladungswege MN zurück gelegt, so dass dazu parallele Wände (z. B. AA’ und BB’) ebenfalls schräg gesehen werden müssten. Die „geknickten“ Dipole, Ladungswege und Wände wären aber niemals auf einer Momentaufnahme zu sehen. Erst eine Folge solcher Momentbilder von senkrecht bewegten Punkten (und nur für diese) liefert die Illusion einer schrägen Bewegung.
Immer ist AB = A’B’ = λ und ***immer erreichen die Fronten gleichzeitig die Wände.***

Warum beobachtet man an den Wänden des ruhenden Kastens im Ruhsystem ein gleichzeitiges Eintreffen der Lichtsignale (Bild 2.a), dagegen im bewegten Kasten (angeblich) Ungleichzeitigkeit (Bild 2.b)?

Da die Beantwortung dieser Frage von fundamentaler Bedeutung für die Physik geworden ist, soll die Analyse tatsächlich durchführbarer Experimente mögliche Missverständnisse aufspüren.

> *Spielt es eine Rolle, ob das Lichtsignal in der bewegten Kabine oder außerhalb mittig startet?* **Einstein ist überzeugt: „Für mich spielt es keine Rolle, ob die Lichtquelle sich in meinem System bewegt oder nicht.**“ (in: Evolution der Physik)

Analyse:

Pro:

Das Lichtpunktmodell führt zu Einsteins Antwort. **Egal** ob der Startpunkt M der Front außerhalb der bewegten Kabine oder innen liegt, breitet sich das Signal jeweils mit c aus und erreicht nach T/2 die gleich weit entfernten Punkte A bzw. B (Bild 2.b). Da sich die Kabine während des Vorganges gegenüber M bewegt, verändern sich die Abstände der Quelle gegenüber den Wänden. Tatsächlich sollte vom Außenbeobachter ungleichzeitiges Eintreffen der Signale erwartet werden.

Kontra:

Das Wellenmodell führt zu einer abweichenden Antwort**. Es ist nicht egal**, ob der Startpunkt der Wellenfront außen im Ruhsystem bei M oder innen im bewegten System bei M’ liegt. Nur wenn er außen liegt, treffen die Signale ungleichzeitig an den Wänden ein. Liegt er mittig in der bewegten Kabine, stellt sich die Sache anders dar: Es ist gleichzeitiges Eintreffen zu erwarten.

Begründung:
Zunächst: Der Übergang zum Wellenmodell berücksichtigt neben der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit weitere Eigenschaften elektromagnetischer Wellen, insbesondere den Zusammenhang zwischen leitergeführten Schwingungen im Dipol und Abstrahlung von Raumwellen senkrecht zum Dipol mit Lichtgeschwindigkeit c. Aus der räumlich eindimensionalen Betrachtungsweise (Lichtstrahl) wird damit eine dreidimensionale (Raumwelle), die oft hinreichend in zwei Dimensionen beschreibbar ist. Damit werden die zu Grunde liegenden physikalischen Vorgänge bei Lichtentstehung und Ausbreitung Gegenstand der Untersuchung bzw. Erklärung.

Bild 2.a) zeigt einen unbewegten Dipol im Ruhsystem während einer halben Schwingung der negativen bzw. positiven Ladung. Die Ladungsbewegung erfolgt von der Dipolmitte bei M zu den Dipolenden und zurück während T/2. In dieser Zeit baut sich eine Raumwelle auf, deren Front A bzw. B erreicht. Erst nach T/2 schnürt sich die Halbwelle ab und eilt insgesamt mit c davon, während vorher ein Teil dieser Halbwelle noch mit dem Dipol verbunden war und keinerlei Geschwindigkeit in Ausbreitungsrichtung hatte (weder c noch v). Mit „Lichtgeschwindigkeit“ ist üblicherweise „Frontgeschwindigkeit“ gemeint, obwohl beim Phänomen „Licht“ noch andere Geschwindigkeiten im Spiele sind.

Strahlt der Dipol bei M vom Ruhsystem aus in die ruhende Kabine, so verläuft alles wie in Bild 2.a) dargestellt. Wird die Kabine während T/2 bewegt und wird die Lichtbewegung als „Projektion“ nach außen beobachtet, so erreichen die Signale scheinbar ungleichzeitig die Wände.
Bis hierher stimmen Aussagen im Punkt- und Wellenmodell überein.

Untersuchung des Falles
„Gegen das Ruhsystem bewegte Kabine mit innen mittig angebrachtem Sendedipol“

Der *Innenbeobachte*r (Bild 2.a) registriert gleichzeitig an den Wänden eintreffende Signale. Das überrascht ihn nicht, denn im gleichförmig bewegten System „Kabine“ sollten sämtliche Naturphänomene so zu beobachten sein wie z. B. im „Ruhsystem“ (Relativitätsprinzip).

Was registriert der *Außenbeobachter?*
Man könnte scherzhaft sagen: Er könnte haargenau dasselbe wahrnehmen wie der Innenbeobachter, wenn er doch während der Vorbeifahrt seinen Blick auf die Kabine fixieren würde und seinen Kopf dabei entsprechend drehte. Auch er würde gleichzeitiges Eintreffen der Signale an den Wänden registrieren (Ursache: Er würde zum Innenbeobachter, weil er die Relativgeschwindigkeit mit seiner Kopfdrehung „ausschaltet“).
Aber auch eine Analyse der Situation führt zum selben Ergebnis.
Da statt einer nulldimensionalen Punktquelle jetzt ein eindimensionaler Dipol der Länge λ/2 als Quelle fungiert, kommt neben Kabinen- bzw. Dipolgeschwindigkeit v und Lichtgeschwindigkeit c (in Ausbreitungsrichtung) noch die Geschwindigkeit c der Feldänderungen längs des Dipols ins Spiel. (Anschaulich kann man sich bewegte Ladungen im Dipol vorstellen, wobei diese natürlich nicht mit c unterwegs sein können: Ein bewegtes Elektron soll lediglich die Feldbewegung anschaulich machen).
Waren es beim Punktmodell nur zwei einander überlagernde Geschwindigkeiten v und c, sind es im Wellenmodell drei. Die in y-Richtung bewegten Ladungen (leitergeführte Felder) haben ebenfalls die Geschwindigkeit c, allerdings senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung der Raumfelder.

Bild 2.c) zeigt verzerrte (schräge) Ladungswege und verzerrte Vorder- bzw. Rückwände, allerdings bleiben die Abstände AB, A’B’ usw. erhalten. Sie entsprechen immer λ. Da diese Strecken invariant bleiben bei Bewegung der Kabine (inclusive des mittig angebrachten Dipols als Signalquelle), können sie klassisch nach Galilei transformiert werden. Dafür genügt es, jeweils den Streckenmittelpunkt mit –vt bzw. mit vt zu transformieren.
Transformation mit -vt : Die Ausgangssituation wird wieder erreicht

- Für M gilt t = 0, d. h. mit -vt = 0 bleibt die Strecke AB am selben Ort.
- Für N als Mittelpunkt der Strecke A’B’ gilt t = T/4, d. h. die gesamte Strecke rückt mit -vT/4 wieder nach links an den Ausgangspunkt. Entsprechend können alle anderen Punkte des Systems transformiert werden.
- Die Kabine ist wieder kubisch, die Ladungen bewegen sich im Dipol wieder senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Raumfelder.

Sollte sich damit die zwingende Notwendigkeit einer Lorentztransformation erledigen? Sind hier nicht auch die Lichtwege schräg und damit länger, so dass im Dipol die Felder mit Geschwindigkeiten größer c unterwegs sein müssten?
Das führt zunächst zu der grundsätzlichen Frage, wie Inertialsysteme kombiniert werden dürfen.
Lässt sich das ganze vereinfacht darstellen?
Bild 1.b) zeigt, dass jede bei M gestartete Front, unabhängig von der Quellengeschwindigkeit gegenüber dem Ruhsystem, in gleichen Zeiten gleiche Wege MA bzw. MB (d. h. mit c = konst.) zurücklegt.

Bild 2.b) zeigt dasselbe, nur dass zusätzlich noch Objekte (Kastenwände) dargestellt sind, die ein neues Problem aufwerfen: Warum erreichen die Fronten nicht gleichzeitig Vorder- bzw. Rückwand?
Die Lösung scheint offensichtlich: Während der ruhende Beobachter die Frontbewegung von M nach A bzw. B registriert, wird gleichzeitig die „Bühne“ des Geschehens (ein anderes Inertialsystem), bestehend aus Dipol und Kasten, mit der Geschwindigkeit v um vt = MM’ verschoben. Nicht die Lichtfront ist schneller bzw. langsamer geworden, **nicht die Lichteigenschaften haben sich im geringsten verändert – lediglich bestimmte Bezugspunkte wurden während des Experiments geändert und haben die Verhältnisse verzerrt.**
Hier stößt das Lichtpunktmodell zur Beschreibung des Komplexes „Licht“ an seine Grenzen, da Frontpunkte mit v = c und Abschnürpunkte mit v = 0 während T/2 (also unterschiedlich) bewegt sind.

Allerdings erscheinen die Ereignisse am bewegten Dipol gegenüber dem Ruhsystem nicht mehr symmetrisch. Die erste Halbschwingung beginnt bei M und endet bei M’, das heißt Startpunkt und Abschnürpunkt haben sich während T/2 um vt verschoben. Da sich während T/2 Front und Dipol mit verschiedenen Geschwindigkeiten gegenüber dem Ruhsystem bewegen, aber auch gegeneinander, wird die Sache komplizierter. Der Dipol eilt z. B. mit v der mit c bewegten Front hinterher. Daraus ergibt sich:

- Die Front bewegt sich zwar mit c gegenüber ihrem Startpunkt M, aber mit c – v gegenüber dem Dipol (entsprechend mit c + v auf der anderen Seite).
- Andererseits bleibt die Symmetrie erhalten, wenn das Gesamtsystem Dipol plus Raumfeld betrachtet wird. Die Stauchung bzw. Streckung der Raumfelder infolge der Dipolbewegung hat keinen Einfluss auf die Gesamtstrecke AB = λ.

Da Strecken invariant sind bei klassischen Galileitransformationen (im Gegensatz zu Geschwindigkeiten) und jeder Strecke n · AB eine Zeit t = n · T/2 zuzuordnen ist, so können sämtlich Raum- und Zeitkoordinaten auf klassische Weise transformiert werden.

Und warum sieht der Außenbeobachter bei Einstein Ungleichzeitigkeit?

Ach Kind, es ist schon spät, ein andermal.
Nur so viel: Wenn die Lichtgeschwindigkeit konstant ist, so legt die Front von der Kastenmitte zu den Wänden die gleichen Strecken in gleichen Zeiten zurück. Startet nun die Front von der unbewegten Mitte und bewegen sich gleichzeitig die Wände, so sind die zurückzulegenden Strecken nicht mehr gleich lang. Zur Messung von Geschwindigkeiten kann nicht ein ruhender Startpunkt (im Ruhsystem) und ein beweglicher Zielpunkt (im relativ bewegten System) verwendet werden. **Start und Ziel müssen zu jedem Zeitpunkt gleichen Abstand haben.**
(Übrigens: Wenn der Außenbeobachter die Lage der Wände zur Lichtfront beurteilen kann, so sollte ihm auch auffallen, dass die Kastenmitte mit Lampe immer im konstanten Abstand zu den Wänden bleibt, das heißt die Raumverhältnisse haben sich im Kasten während der Bewegung mit v nicht geändert.)
Das Relativitätsprinzip lässt in jedem Inertialsystem die gleichen Naturgesetze gelten, macht aber keine Aussage für systemübergreifende Experimente.
Aber ...
Schluss!

05. Kombination von Inertialsystemen

Impulserhaltungssatz:
In einem abgeschlossenen System, in dem nur innere Kräfte zwischen Körpern wirksam sind, bleibt der Vektor des Gesamtimpulses erhalten.

Um Naturgesetzlichkeiten in der Fülle der Naturerscheinungen zu entdecken, sind Bedingungen anzugeben, unter denen diese Untersuchungen stattfinden. Ist ein Gesetz gefunden, so müssen die Erscheinungen unter den gegebenen Bedingungen immer eintreten.
Eine dieser Bedingungen ist **1. die Abgeschlossenheit des Systems**, in dem die Forschungen stattfinden.
Eine zweite Bedingung ist gegeben durch die Forderung, jedes beliebige, relativ zu anderen gleichförmig bewegte Inertialsystem als Forschungslabor benutzen zu können. Es gilt **2. das Relativitätsprinzip.**

In der klassischen Physik gab es keinen Konflikt zwischen diesen beiden Bedingungen. Die Abgeschlossenheit stand nicht in Frage (man konnte ja beliebig ausgedehnte Systeme als Bezugsrahmen nutzen), und über das Relativitätsprinzip musste man sich nicht den Kopf zerbrechen: Selbst wenn Experimente auf einem fahrenden Schiff vom ruhenden Ufer beurteilt werden sollten, so mussten die Schiffsereignisse nur um $x' = x + vt$ in Fahrtrichtung korrigiert werden.

Mit der Untersuchung elektrodynamischer Phänomene schien das Verhältnis der beiden Bedingungen problematisch zu werden. Warum? Wenn die Naturgesetze in einem abgeschlossenen System I_1 gefunden sind, so gelten sie in allen anderen gleichermaßen. Die Bedingung der Abgeschlossenheit ist also hinreichend. Sie definiert einen ruhenden Bezugsrahmen, auf den sich sämtliche Ereignisse beziehen (selbst wenn sich dieses System relativ zu anderen bewegt).
Wenn nun ein äußerer, relativ zu I_1 bewegter Experimentator „hineinschaut", wird er abweichende Beobachtungen machen. Da läuft Licht plötzlich schräg, und gleichzeitige Ereignisse dort „drin" erscheinen ihm „draußen" ungleichzeitig.
Muss deshalb die gesamte Physik umgekrempelt werden?
Aber warum denn? Hier wurde doch nur gegen die Bedingung der Abgeschlossenheit verstoßen. **Alle äußeren Ereignisse bzw. Beobachtungen sind irrelevant für das Forschen im abgeschlossenen System.**, d. h. für die Formulierung von Gesetzen dort „drin".

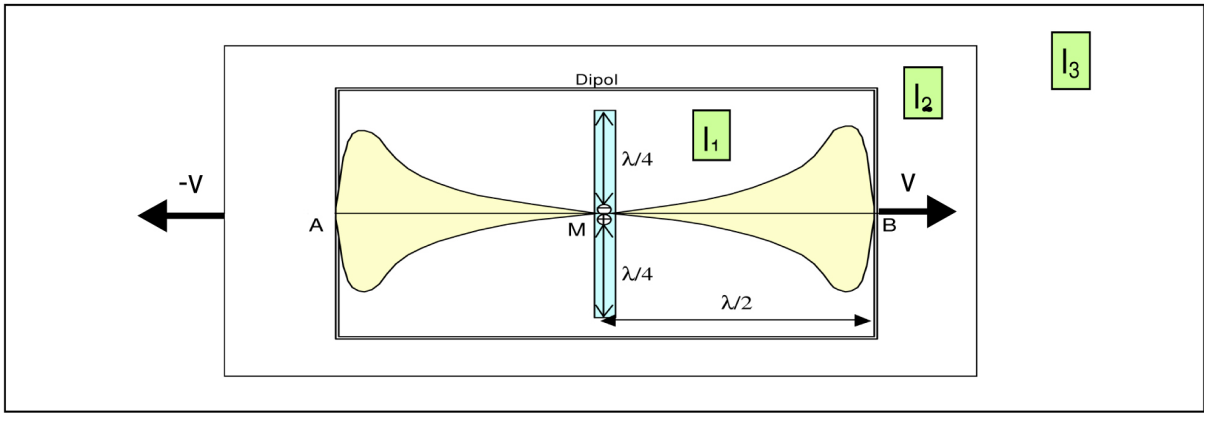


Bild 1.) Die scheinbaren Verzerrungen beim Blick von I_2 nach I_1 werden aufgehoben, wenn I_2 mit –v gegenüber einem dritten System I_3 bewegt wird. Die beobachteten Vorgänge sind dann von dort mit I_1 identisch.

Wenn aber das äußere Geschehen zusätzlich beachtet werden soll, so muss das abgeschlossene System I_1 zu einem neuen System I_2 erweitert werden. Jetzt ist I_2 das neue abgeschlossene System zur Ableitung der Naturgesetze, in dem sich jetzt auch der ehemalige „Außenbeobachter" befindet. Er ist zum „Innenbeobachter" geworden.
Und hier liegt eine Quelle von Missverständnissen.
Es macht nämlich einen Unterschied, ob ein Beobachter von I_2 in I_1 von außen „hineinschaut" (irrelevant, s. o.) oder ob er jetzt als legitimierter Experimentator selber messen kann und die Beobachtungen interpretieren muss. Jetzt darf er selber messen und ist nicht auf reine Sinneswahrnehmung allein angewiesen. Jetzt kann er z. B. durch Messung feststellen, dass alle Punkte der Vorderwand, der Rückwand und des Dipols in gleichen Zeiten gleiche Wege (nach rechts) zurücklegen, dabei parallel zueinander sind und senkrecht zur Bewegungsrichtung stehen bleiben (niemals schräg). Damit laufen auch die Ladungen im Dipol stets senkrecht zur Ausbreitungsrichtung und legen dabei stets Vielfache der Dipollänge $l = \lambda/2$ zurück. Die elektromagnetischen Felder im Dipol müssen also nicht längere „schräge" Wege als $\lambda/2$ in gleicher Zeit $T/2$ zurücklegen. Er versteht, dass die Abstände MA und MB zu jeder Zeit konstant bleiben und die Lichtquelle bei M Fronten aussendet, die immer in gleicher Zeit bei A bzw. B ankommen, also gleichzeitig: Hat sich in seinem System M um Δx nach rechts bewegt, so haben sich auch Vorder- und Rückwand um den gleichen Betrag verschoben. Die Relationen innerhalb des Labors beziehen sich eben nur auf ein einziges Koordinatensystem und bleiben damit eindeutig beschreibbar (unabhängig von äußeren Sichtweisen).
Aber läuft dann die Front von M nach B nicht mit $c + v$, also mit Überlichtgeschwindigkeit? Nicht innerhalb von dem erweiterten Ruhsystem I_2, indem sich die Quelle bewegt, wie an anderer Stelle (Bild 2.b) gezeigt wurde.
Und wenn ich von außen von einem System I_3 her in das abgeschlossene System I_2 hineinschaue? Das widerspräche wieder dem Prinzip der Abgeschlossenheit und muss zu Verzerrungen führen.
Um künftig derartige Missverständnisse auszuschließen, sollte das *Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit* genau wie andere Naturgesetze auch formuliert werden (z. B. Impulserhaltung). Das bedeutet eine Präzisierung hinsichtlich seiner Geltungsbedingung:

> *Prinzip von der Erhaltung der Lichtgeschwindigkeit:*
> ***Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist <u>in jedem abgeschlossenen System</u>, das sich gegen andere abgeschlossene Systeme bewegt, gleich groß.***

Daraus folgt:

- Mit dieser Formulierung werden sämtliche Wahrnehmungen eines „Außenbeobachters" für die Physik irrelevant. Gemessen kann nur innerhalb eines abgeschlossenen Systems werden. Dort gefundene Naturgesetze haben ihre Gültigkeit auch nur innerhalb solch abgeschlossener Systeme.
- Um Ereignisse in relativ zueinander bewegten abgeschlossenen Systemen vergleichen zu können, gibt es zwei Möglichkeiten: **1. Der mathematische Vergleich** behandelt die Systeme (bzw. ihre einzelnen Komponenten) wie abstrakte Objekte, mit denen nach mathematischen Regeln operiert werden kann. So wird z. B. aus der Relativbewegung mit Relativgeschwindigkeit v eine völlig „unphysikalische" Verschiebungsrelation, wo nach den Regeln der Vektorrechnung auch $c + v$ einen mathematischen Sinn macht, nämlich hinsichtlich der Umrechnung von Koordinaten von einem System ins andere. Das

ist deshalb erlaubt, weil wir von außen von einer „Metaebene“ auf zwei eigenständige abgeschlossene Systeme schauen und somit gewissermaßen nicht mehr als Physiker sondern als „Metaphysiker“ agieren. Beharrt dieser „Metaphysiker“ allerdings darauf, noch physikalische Aussagen machen zu müssen oder gar neue Naturgesetze glaubt gefunden zu haben (z. B. Zeitdilatation), so wird reinsten Gewissens Metaphysik zur Physik erklärt (Max Tegmark: „Mathematische Existenz ist dasselbe wie physische Existenz“). Die Folgen sind in den Lehrbüchern zu besichtigen (Zwillingsparadoxon, Auflösung grundlegender Begriffe der Physik wie Raum, Zeit, Kausalität usw.).

- Die andere Möglichkeit ist **2. die Erweiterung eines ausgewählten Systems** derart, dass es die zu vergleichenden Systeme allesamt zu einem einzigen abgeschlossenen System vereint. Jetzt muss der Metaphysiker draußen bleiben und der Physiker beschreibt sämtliche Phänomene innerhalb eines einzigen Bezugssystems auf der Basis rein physikalischer Methoden. Die Mathematik ist hier lediglich als Hilfsmittel zur Beschreibung der Vorgänge und zur Formulierung von Voraussagen in Gebrauch.

Die Rückkehr zur Einheit der Physik

Beachten wir die Besonderheiten von **1. Der mathematische Vergleich** *und* **2. Erweiterung eines Systems** zu einem abgeschlossenen, umfassenderen System, so bedeutet das eine **Rückkehr zur Einheit der Physik** in doppelter Hinsicht:

a) Mechanische und elektromagnetische Vorgänge (und jeder andere physikalische Vorgang) können methodisch ohne Unterschiede in einem einzigen abgeschlossenen System beschrieben werden.
   Der mathematische Vergleich von Ergebnissen, die in zwei unabhängigen Systemen gewonnen wurden, kann durch eine einzige Transformation (klassisch) für sämtliche Vorgänge erfolgen.
   Bild 3.) zeigt: Jeweils das gesamte System ist mit v bzw. –v zu transformieren (d. h. alle Systempunkte), nicht nur ausgewählte bewegte Punkte vor bewegtem Koordinatensystem.
b) Die Lorentztransformation, die wegen merkwürdiger Außenbeobachtungen eingeführt worden war, erweist sich als überflüssig. Allein die klassische Transformation (Galilei) vermag alle Koordinaten eindeutig umzurechnen, wenn sämtliche Punkte eines Systems zu einem Zeitpunkt Berücksichtigung finden. (Natürlich lässt sich auch weiterhin mathematisch mit Lorentz transformieren, nur eben nicht weiterhin physikalisch mit Lorentz interpretieren).

Die seit einem Jahrhundert ausgefahrenen **Denkgeleise des Einsteinzuges**, der am Bahnsteig vorüber rast und uns eindrücklich von der Ungleichzeitigkeit des Eintreffens von Lichtsignalen im Zug überzeugt, wo doch draußen am Bahnsteig unter vermeintlich gleichen Bedingungen Gleichzeitigkeit wahrgenommen wird, **bedürfen einer behutsamen Sanierung.**

Nicht die klassischen Prinzipien, die physikalischen Begriffe, die Naturgesetze bzw. die mathematischen Strukturen sind betroffen – es sind die Gedankenwege, die Interpretationen, die weggeschliffenen Nuancen, die einer Aufarbeitung bedürfen.

Bestandsanalyse zum Denkgeleise des Einsteinzuges:
Experimentierergebnisse von Physikern basieren auf konkreten Bedingungen, sind aber auch in allgemeinere Strukturen eingebunden. „Das Glas ist halb voll“ und „das Glas ist halb leer“ bezeichnen physikalisch exakt denselben Füllzustand, suggerieren aber eine unterschiedliche Entstehungsgeschichte: „Das Glas wurde vom leeren Zustand aufgefüllt“ und „das Glas wurde vom vollen Zustand entleert“. Hier kommen Gedankenwege, Interpretationen, Nuancen ins Spiel, die das Ergebnis allein nicht hergibt. Doch je nach Bevorzugung dieser oder jener Interpretation wird der weitere Gedankenweg (die Voraussage) unterschiedlich verlaufen: „Das Glas füllt sich“ oder „das Glas lehrt sich“.
Ursache dieser merkwürdigen Situation ist die Verwendung zweier Koordinatensysteme. Die eine Maßskala reicht von „0 bis voll“, die andere von „0 bis leer“. Klarheit liefert der Übergang zu einem einzigen System, das üblicherweise mit der Angabe des Volumens in einem Messbecher gegeben ist: „Das Flüssigkeitsvolumen im Glas beträgt 50 ml. Das entspricht der Hälfte des Fassungsvermögens“.

Der Verdacht liegt nahe, dass überall dort, wo ein physikalisches Ereignis mit verschiedenen Koordinatensystemen beschrieben wird, auch unterschiedliche bzw. missverständliche Schlussfolgerungen möglich sind.
Das in der klassischen Physik längst für selbstverständlich gehaltene Relativitätsprinzip erlaubt zwar die Wahl jedes beliebigen Inertialsystems, aber nach der Entscheidung haben die Experimente dann ausschließlich dort statt zu finden. Die Eindeutigkeit der Ergebnisse wird so in einem einzigen Koordinatensystem gewahrt.

Als der Einsteinzug gegenüber den ruhenden Bahnsteigen durch die Welt zu rasen begann, gerieten derartige klassische Weisheiten in Vergessenheit. Die Argumentation überzeugte: Wenn alle Systeme gleichberechtigt sind, kann ich sie doch alle nach Belieben nutzen, denn was in dem einen gilt, gilt auch in dem anderen. Jetzt bewegte sich nicht mehr das Objekt „Zug“ gegenüber dem Objekt „Bahnsteig“ *im* einzigen Koordinatensystem K, jetzt bewegten sich zwei Koordinatensysteme K_1 und K_2 relativ zueinander, in denen sich Zug und Bahnsteig getrennt befanden. Jetzt wurden physikalische Ereignisse „gleichberechtigt“ in zwei Systemen beschrieben. Und jetzt begann man sich zu wundern, warum Beobachtungen desselben Gegenstandes aus K_1 und K_2 heraus zu unterschiedlichen Ergebnissen führten und mal Gleichzeitigkeit, mal Ungleichzeitigkeit registriert wurde.
Seither disputieren Heerscharen von Physikern, Mathematikern, Logikern, Lehrern, Schülern usw., was wohl dieser oder jener Beobachter gesehen haben mag und welche Erkenntnisse daraus zu ziehen seien.
Wie war der Widerspruch zu beseitigen, wenn alle verwendeten Prinzipien und ihre logische Verknüpfung doch ihre Richtigkeit hatten? Beim Ringen um eine Lösung geriet man auf eine Gedankenbahn, die als Denkgeleise des Einsteinzuges fortan von der alten Physikertrasse abzweigte und eine eigenständige Physik begründete, **die relativistische Physik. Diese löste den Widerspruch durch Abschaffung des Prinzips der „Einheit der Physik“,** indem jedem Inertialsystem eine eigene Physik mit eigenen Zeit- und Raummaßstäben zugestanden wurde.

Ein solch unkonventioneller Umgang mit Wissenschaftstraditionen spaltete die Physiker in Relativisten und Traditionalisten. Erstere sehen sich als moderne Erneuerer, letztere sehen sich unbeirrt als Bewahrer physikalischer Prinzipien wie

- Prinzip von der Einheit der Physik
- Prinzip von der Abgeschlossenheit des Systems, in dem Naturgesetze gelten

- Relativitätsprinzip: In relativ zueinander bewegten Systemen gelten die gleichen Naturgesetze
- Koordinaten werden einheitlich nach mathematischen Regeln von einem ins andere System transformiert (klassische Transformation)

Die unendliche, sich im Kreise drehende Diskussion zwischen Relativisten und Traditionalisten wäre sofort zu Ende, wenn man zur Naturbeschreibung wieder ein einziges System benutzte (physikalischer Aspekt) bzw. zur Umrechnung von K_1 in K_2 rein mathematische Koordinatentransformation durchführte (mathematischer Aspekt). Aufgegeben werden müsste die unbegründete Überzeugung, die unreflektierte Wahrnehmung über Systemgrenzen hinweg (undifferenzierte Vermischung von physikalischem mit mathematischem Aspekt) könne Basis der physikalischen Erkenntnis sein.

Das Auseinanderhalten dieser beiden wesensfremden Aspekte wird dadurch erschwert, dass in der Darstellung eines physikalischen Sachverhaltes mit mathematischen (geometrischen) Mitteln die Zuordnung undeutlich wird: Handelt es sich bei diesem Pfeil um einen Geschwindigkeitsvektor, der für eine reale Bewegung eines physikalischen Objektes steht oder symbolisiert er eine Verschiebungsrelation von mathematischen Punkten in leeren Koordinatensystemen?

Das folgende Beispiel zeigt, wie die physikalische und die mathematische Darstellung desselben Experiments aussehen: Die Interpretationen des Ergebnisses fallen weit auseinander und führten sogar zur Spaltung der Physik in „klassisch“ und „relativistisch“.

Bild 2.) Lichtsignal im Einsteinzug senkrecht zur Fahrtrichtung

a) **physikalisch** in *einem* abgeschlossenen Zug-System (Beobachter und Experiment in fester Relation, blau markiert)
b) **mathematisch** in *zwei* Systemen (Beobachter und Experiment relativ zueinander bewegt, gelb markiert)

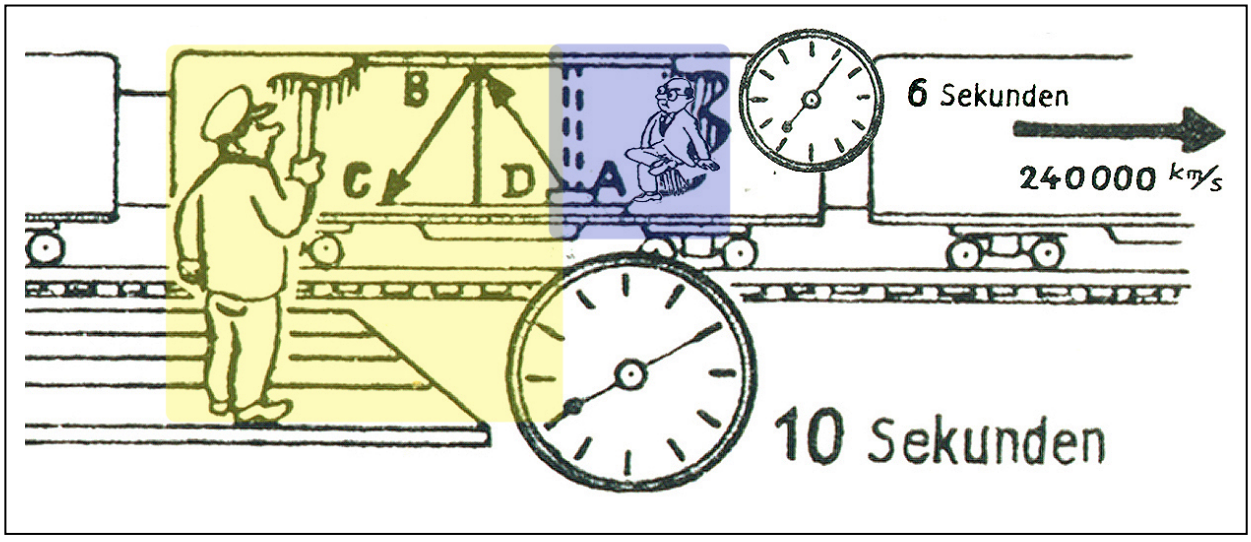


Bild 2.)

Letztlich fällt das relativistische „Beobachterproblem“ unter jene Wahrnehmungsphänomene, die allein durch Perspektivwechsel Gegenstände generieren, die es nicht gibt.

Exkurs: Wechselnder Bildeindruck und wechselnder Beobachterstandpunkt

Bild 3.) Pokal oder zwei Gesichtsprofile?
Sehen wir auf die weiße Fläche, nehmen wir einen Pokal wahr. Konzentrieren wir uns mit winzigem Blickwechsel auf die schwarze Fläche, erscheinen zwei Gesichter. Welche Naturgegenstände existieren hier tatsächlich? Das ist unentscheidbar, da beide Beobachterperspektiven (vorläufig) gleichberechtigt sind. Müssen wir nun schlussfolgern, dass Pokal und Gesichter aufgrund der gleichberechtigten Sichten auch gemeinsam realisiert sind, d. h. müssen wir unser Naturverständnis revolutionieren? Oder müssen wir uns vergegenwärtigen: Zu jedem Naturgegenstand gibt es beliebig viele Abbildungen, nicht aber jedem „Gesehenen" ist auch ein entsprechender Gegenstand zuzuordnen. Die einzelne Wahrnehmung ist also nicht hinreichend zur Formulierung von Naturgesetzen. Erst das Puzzle aus vielen Wahrnehmungen nähert sich dem Gegenstand. In unserem Falle genügte für die Entscheidung das Hinzufügen der dritten Raumdimension.

Das Beispiel der Treppe zeigt, wie allein der Perspektivwechsel Gegenstände generiert, die es nicht gibt. Ein einziges Foto von einer gefalteten Pappe wurde lediglich mehrfach um den Bildmittelpunkt gedreht, um fünf verschiedene Hypothesen über den Gegenstand gleichberechtigt zu ermöglichen.

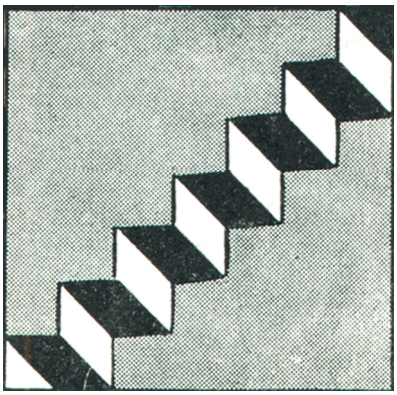
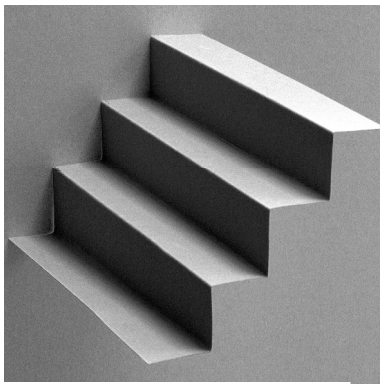
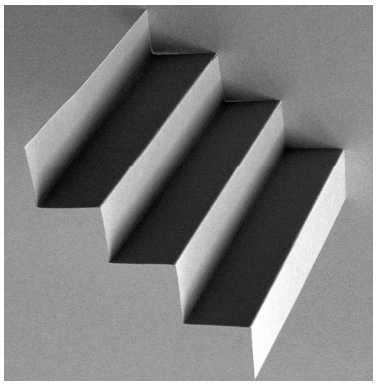


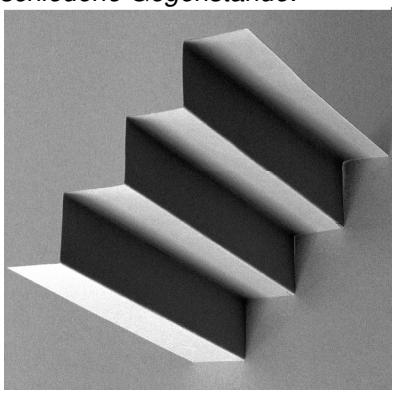
Bild 4.) Welches Objekt ist das? Der Betrachter „sieht" fünf verschiedene Gegenstände:



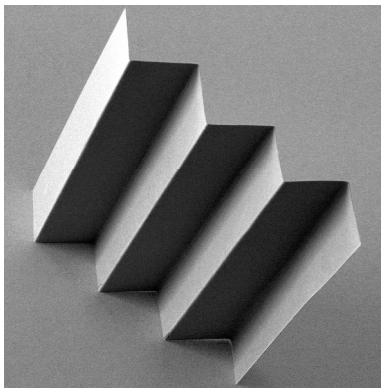
1. Treppendraufsicht von vorn links-oben



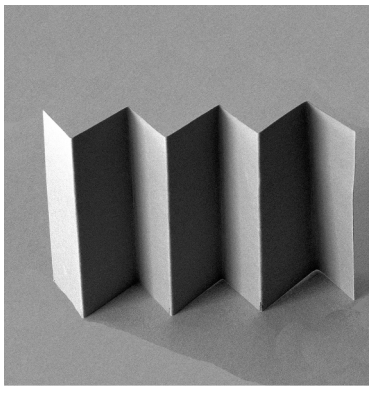
2. Treppendraufsicht von vorn rechts-oben



3. Treppenuntersicht von vorn rechts-unten



4. *Treppenuntersicht* von *vorn links-unten*



5. *Treppenelement* senkrecht *auf ebener Unterlage.*

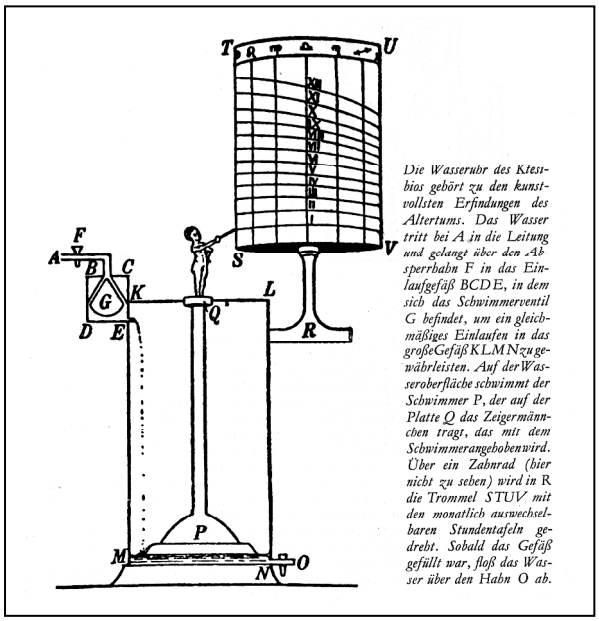
06. Unterschiedliche Zeitdefinitionen innerhalb einer Uhr und einer Theorie

Bewegte Uhren gehen langsamer als ruhende Uhren. Ein Vorgang wird hier länger, dort kürzer gemessen. (Metzler Physik)

Diese populäre Lehrbuchweisheit macht die Relativitätstheorie interessant auch für ein der Physik fernstehendes Publikum. „Wie kann das sein?“ fragt selbst der Physikprofessor – und akzeptiert schließlich die üblichen Erklärungen.

Bewegte Uhren gehen *nicht* langsamer, denn im ruhenden wie im bewegten System laufen sämtliche Naturvorgänge gleichermaßen ab. Der behauptete Unterschied kann sich aus zwei verschiedenen Messmethoden innerhalb eines (Uhren-) Systems ergeben.
Zeit lässt sich messen mit Hilfe von Verfahren, denen **1. periodische Vorgänge** zugrunde liegen (Erdumlauf um die Sonne, Pendel, Federschwinger, Atom- bzw. Molekülschwingungen) oder nach Verfahren, die **2. nichtperiodische Abläufe** nutzen (Wasseruhr, Sanduhr).

Periodische Vorgänge jeder Art lassen sich allein durch Abzählung der Wiederholung eines Elementarvorganges (Erdumlauf, Pendelbewegung) charakterisieren.
Bei nichtperiodischen, „fließenden“ Vorgängen hingegen dient ein mit konstanter Geschwindigkeit zurückgelegter Weg als Zeitmaß.
Hier kommt der Geschwindigkeitsbegriff ins Spiel. Bei einer Wasseruhr wird über die Ausflussgeschwindigkeit (das heißt über austretende Teilchenmenge pro Zeit) der Zeitbegriff definiert: Fließt ein bestimmtes Wasservolumen mit einer gegebenen Teilchenmenge und einer (beliebig festlegbaren) Geschwindigkeit ab, so wird damit zugleich ein Zeitmaß definiert. Die völlige Entleerung innerhalb eines Tages kann als Zeitmaß „Tag“ benutzt werden, Unterteilungen in 24 gleiche Wasservolumina ergeben dann eine mögliche Definition für „Stunde“.



Die Wasseruhr des Ktesibios gehört zu den kunstvollsten Erfindungen des Altertums. Das Wasser tritt bei A in die Leitung und gelangt über den Absperrhahn F in das Einlaufgefäß BCDE, in dem sich das Schwimmerventil G befindet, um ein gleichmäßiges Einlaufen in das große Gefäß KLMN zu gewährleisten. Auf der Wasseroberfläche schwimmt der Schwimmer P, der auf der Platte Q das Zeigermännchen trägt, das mit dem Schwimmer angehoben wird. Über ein Zahnrad (hier nicht zu sehen) wird in R die Trommel STUV mit den monatlich auswechselbaren Stundentafeln gedreht. Sobald das Gefäß gefüllt war, floß das Wasser über den Hahn O ab.

Bild 1.) Wasseruhr des Ktesibios (296 bis 228 v. Chr.) auf Basis eines nichtperiodischen Vorganges

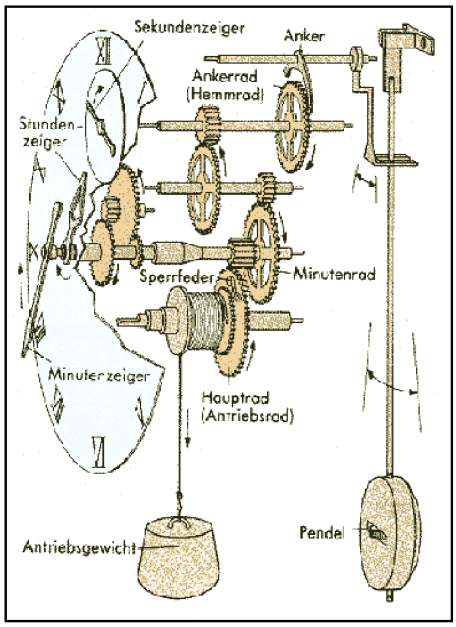


Bild 2.) Pendeluhr auf Basis eines periodischen Vorganges

Uhren auf der Basis von periodischen Vorgängen beruhen letztlich nur auf einem Abzählvorgang und sind somit unabhängig von Geschwindigkeiten bzw. Wegen, die während des Abzählvorganges zurückgelegt werden. Somit gibt es auch in der SRT keinerlei Probleme mit der „Eigenzeit“ eines ruhenden Beobachters bzw. mit Uhren, die im bewegten Inertialsystem mitgeführt werden und von dort abgelesen werden.

Der französische Erfinder De Caus beschreibt 1615 eine Uhr, an der sich bereits das relativistische Zeitproblem andeutet und beschreiben lässt.

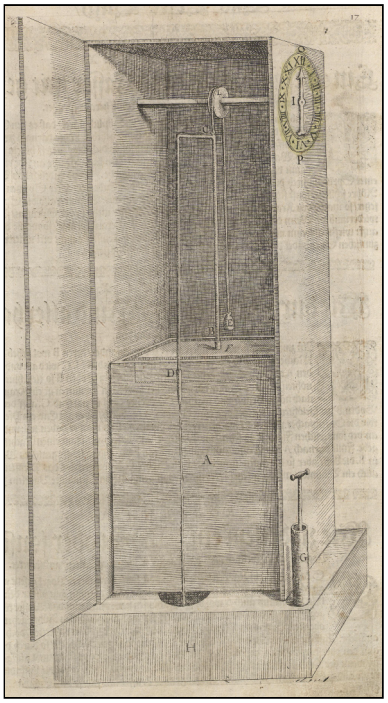
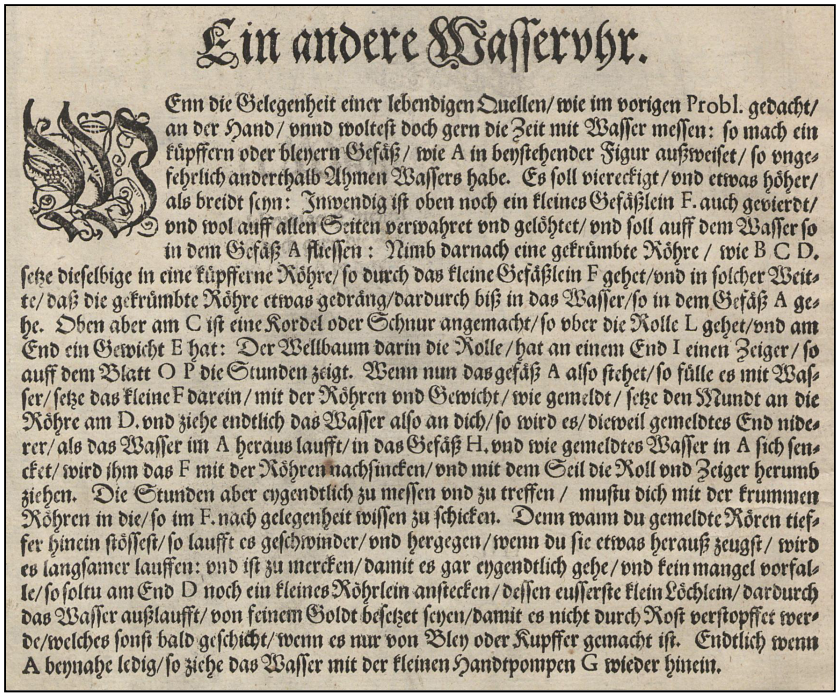


Bild 3.)



Ein andere Wasseruhr.

Wenn die Gelegenheit einer lebendigen Quellen/ wie im vorigen Probl. gedacht/ an der Hand/ vnnd wolteſt doch gern die Zeit mit Waſſer meſſen: ſo mach ein küpffern oder bleyern Gefäß/ wie A in beyſtehender Figur außweiſet/ ſo vngefehrlich anderthalb Ahmen Waſſers habe. Es ſoll viereckigt/ vnd etwas höher/ als breidt ſeyn: Inwendig iſt oben noch ein kleines Gefäßlein F. auch gevierdt/ vnd wol auff allen Seiten verwahret vnd gelöhtet/ vnd ſoll auff dem Waſſer ſo in dem Gefäß A flieſſen: Nimb darnach eine gekrümbte Röhre / wie B C D. ſetze dieſelbige in eine küpfferne Röhre/ ſo durch das kleine Gefäßlein F gehet/ vnd in ſolcher Weite/ daß die gekrümbte Röhre etwas gedräng/ dardurch biß in das Waſſer/ ſo in dem Gefäß A ge-he. Oben aber am C iſt eine Kordel oder Schnur angemacht/ ſo vber die Rolle L gehet/ vnd am End ein Gewicht E hat: Der Wellbaum darin die Rolle/ hat an einem End I einen Zeiger/ ſo auff dem Blatt O P die Stunden zeigt. Wenn nun das gefäß A alſo ſtehet/ ſo fülle es mit Waſſer/ ſetze das kleine F darein/ mit der Röhren vnd Gewicht/ wie gemeldt/ ſetze den Mundt an die Röhre am D. vnd ziehe endtlich das Waſſer alſo an dich/ ſo wird es/ dieweil gemeldtes End nideres/ als das Waſſer im A heraus laufft/ in das Gefäß H. vnd wie gemeldtes Waſſer in A ſich ſencket/ wird ihm das F mit der Röhren nachſincken/ vnd mit dem Seil die Roll vnd Zeiger herumb ziehen. Die Stunden aber eygendtlich zu meſſen vnd zu treffen / muſtu dich mit der krummen Röhren in die/ ſo im F. nach gelegenheit wiſſen zu ſchicken. Denn wann du gemeldte Röhren tiefer hinein ſtöſſeſt/ ſo laufft es geſchwinder/ vnd hergegen/ wenn du ſie etwas herauß zeugſt/ wird es langſamer lauffen: vnd iſt zu mercken/ damit es gar eygendtlich gehe/ vnd kein mangel vorfalle/ ſo ſoltu am End D noch ein kleines Röhrlein anſtecken/ deſſen euſſerſte klein Löchlein/ dardurch das Waſſer außlaufft/ von feinem Goldt beſetzet ſeyen/ damit es nicht durch Roſt verſtopffet werde/ welches ſonſt bald geſchicht/ wenn es nur von Bley oder Kupffer gemacht iſt. Endtlich wenn A beynahe ledig/ ſo ziehe das Waſſer mit der kleinen Handtpompen G wieder hinein.

Bild 4.)

Die Walguhr, eine spezielle Wasseruhr, kann prinzipiell sowohl einen kontinuierlichen Bewegungsvorgang, als auch einen periodischen Vorgang zur Zeitmessung nutzen. Vergleichen wir beide auf verschiedenen Messmethoden beruhenden Messwerte, so tritt merkwürdigerweise eine Differenz auf, obwohl die Uhr selbst nicht bewegt wird. Nicht die bewegte Uhr geht hier langsamer, sondern eine bestimmte Messmethode innerhalb der Uhr führt zu prinzipiell abweichenden Zeitwerten.

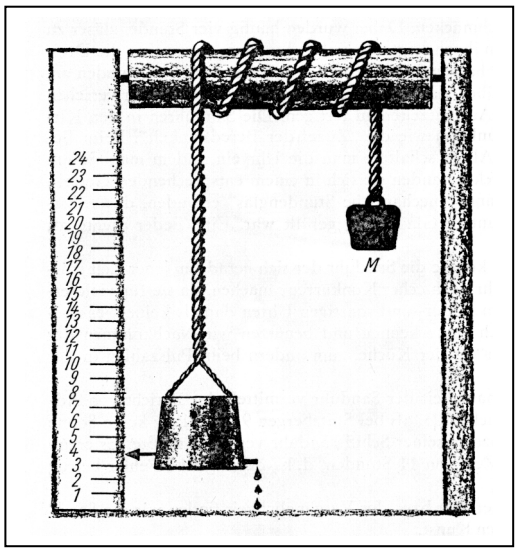


Bild 5.) Prinzip einer Walgeuhr: Durch das Austreten von Wassertropfen wird der Eimer leichter, so dass dieser sich durch die Masse M langsam nach oben bewegt. Die Zeiteinheit wird hier definiert als Wegstrecke, die bei konstanter Geschwindigkeit des Eimers (in Abhängigkeit von der Ausflussgeschwindigkeit) zurückgelegt wird. Die vereinfachte Darstellung berücksichtigt nicht den Ausgleich beschleunigender Kräfte infolge zunehmenden Ungleichgewichtes zwischen Eimer und Ausgleichsmasse. Der Ingenieur De Caus hat dieses Problem raffiniert gelöst (siehe oben).

Methode A: Die Anlage wird so geeicht, dass der volle Eimer genau von Sonnenaufgang zu Sonnenaufgang leer läuft, so dass der beim Aufsteigen mitgeführte Zeiger eine definierte Strecke durchläuft, die der Zeitspanne „1 Tag“ entspricht. Diese Strecke kann in 24 kleinere Einheiten unterteilt werden, die jeweils einer Stunde entsprechen. Die lineare Zeigerbewegung kann durch die Welle in eine Drehbewegung umgewandelt werden, so dass die Zeit von dem drehenden Zeiger auf einem Ziffernblatt ablesbar ist.
Diese Methode ist „nichtperiodischer Natur“.

Methode B: Man kann die vom vollen Eimer austretenden Wassertropfen von Sonnenaufgang zu Sonnenaufgang zählen und die Zeitspanne „1 Tag“ als Anzahl der registrierten Tropfen definieren. Stellt man ein zweites identisches Gefäß unterhalb des aufsteigenden „Uhreneimers“ auf, so sollte dieses nach 24 Stunden exakt gefüllt sein, während das bewegte leer geworden ist.
Das überraschende Ergebnis: Der zweite Eimer ist noch nicht ganz voll, es fehlen noch ein paar Tropfen: Die auf periodischer Basis arbeitende „Tropfenuhr“ braucht hier etwas länger bis zur Anzeige „1 Tag“: Liegt hier Zeitdilatation vor?

Wie erklärt sich die Abweichung der „periodischen“ von der „nichtperiodischen“ Anzeige innerhalb derselben Uhr? Diese ist doch gar nicht bewegt worden?
Antwort: Im Moment der Anzeige „1 Tag“ durch die nichtperiodische Skala hat gleichzeitig der letzte Tropfen den Eimer verlassen und befindet sich noch mit anderen Tropfen im freien Fall. Nach einer Zeitdifferenz Δt hat auch der letzte Tropfen den Auffangeimer erreicht und signalisiert damit verspätet die Anzeige „1 Tag“.
Doch auch während der gesamten Messzeit gab es eine nicht zu vernachlässigende Erscheinung. Ruhen beide Eimer gegeneinander, so lässt sich eine bestimmte Tropfenfrequenz feststellen. Bewegt sich der „Uhreneimer“ während der Messung nach oben, so vergrößert sich der Tropfenabstand ein wenig und lässt die Tropfen in größeren Abständen, das heißt mit geringerer Frequenz unten auftreffen. Derselbe Vorgang wird mit einer scheinbar gedehnten Zeit gemessen.

Wo liegt der Haken?
Das Problem verschwindet, wenn die Tropfenfrequenz direkt am Auslauf registriert wird. In diesem Falle haben wir es mit einer auf rein periodischen Vorgängen basierenden Zeitmessung zu tun. Verlässt der letzte Tropfen den Eimer, kommt auch der Zeiger zur Ruhe. Die nichtperiodische und die periodische Anzeige stimmen exakt überein – genau „1 Tag“ ist seit dem ersten Tropfen vergangen.

Die tiefer liegende Ursache der vermeintlichen „Zeitdehnung“ scheint in folgendem zu liegen: Rein periodische wie rein nichtperiodische Zeitmess-Verfahren machen keinerlei Probleme und führen zu exakt gleichen Messergebnissen. So registriert ein in Höhe des Auslaufs *und* des Zeigers postierter Sensor während der Aufwärtsbewegung des Eimers übereinstimmende Messwerte in beiden Zählsystemen (Streckenzuwachs entspricht Tropfenzahl-Zuwachs).
Wird hingegen einer dieser Messmethoden ein weiteres Zeitmess-Element hinzugefügt, so liefert ein Überlagerungseffekt abweichende Werte. Wird z. B. die Tropfenzählung statt direkt am Auslauf des Eimers erst nach freiem Fall am unten stehenden Eimer vorgenommen, kommt die senkrecht nach oben gerichtete Eimergeschwindigkeit (relativ zum Gehäuse) ins Spiel: Je schneller der Eimer steigt, desto größer werden die Abstände der Tropfen und um so geringer die Auftrefffrequenz unten. Damit wird aber eine geringere Tropfenfrequenz beim Auslauf oben vorgetäuscht: Die Zeit

scheint langsamer zu vergehen. In Wirklichkeit ist hier die korrekte Tropfenzählung am Auslauf noch mit einer zusätzlichen, irrelevanten Eimer-Geschwindigkeit verknüpft worden, die allerdings auch, für sich genommen, als „nichtperiodisches Verfahren“ ein korrektes Zeit-Resultat geliefert hätte.
In diesem Falle überlagern die nichtperiodische Zeitmessung (links) und die periodische Zeitmessung (rechts) als wesensfremde Messmethoden ein und desselben Vorganges einander und liefern von ein und derselben Uhr (!) zwei unterschiedliche Messergebnisse. Ist dieser Zusammenhang erkannt, lassen sich Vorkehrungen für eine korrekte Zeitmessung treffen bzw. für eine Korrektur der „falschen“ Zeitwerte. Nicht die Zeit ist gedehnt, sondern die Messmethodik hat etwas übersehen bzw. falsch interpretiert. Der Erfinder De Caus hat seine Walgeuhr so ausgestattet, dass ein gleichmäßiger Gang gewährleistet ist.

Die mittelalterliche Walguhr hat längst ausgedient und ist hochgenauen elektronischen Uhren gewichen. Lasst sich die beschriebene Problematik z. B. auch auf Lichtuhren übertragen?

07. Die Glasfaseruhr und die Lichtuhr

Die Vorgänge in einer bewegten bzw. unbewegten Lichtuhr sind schnell skizziert und scheinen mit einfachsten Mitteln das Grundphänomen der Relativitätstheorie darzustellen – mitsamt Lösungsansatz.

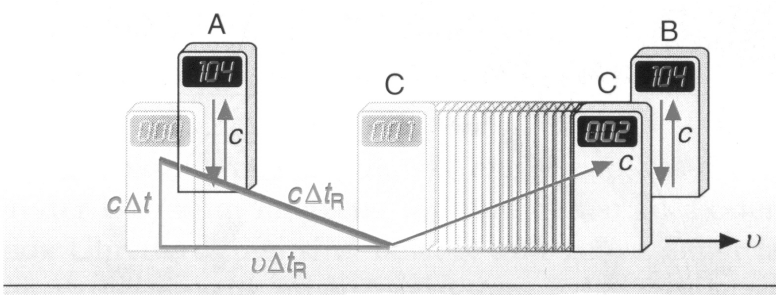


Bild 1.) In der ruhenden Lichtuhr läuft ein Lichtsignal zwischen zwei Spiegeln auf und ab, jede Periode wird gezählt und als Zeitäquivalent angezeigt. Die bewegte Lichtuhr vermittelt dem ruhenden Beobachter einen scheinbar schrägen, längeren Lichtweg. Da das Signal mit c = konst. läuft, ist ein Widerspruch aufzuklären. Die Relativitätstheorie schlägt vor, die Zeit so zu dehnen, dass dieser längere Weg in der erwarteten Zeit zurück gelegt werden kann.

Während fast sämtliche Theoretiker mit der Einfügung eines Korrekturfaktors das Problem als gelöst ansehen, hat der Uhren-Ingenieur bis heute Bauchschmerzen:

- Wie baut man eine Uhr, die verlässliche Vergleiche mit anderen Uhren ermöglicht?
- Welche bislang unbeachteten Phänomene könnten die Ursache für vermeintliche Zeitdehnung sein?

Verlassen wir mal die Einsteinsche Theorienwerkstatt und versuchen uns in die Denk- und Arbeitswelt eines Uhrenerfinders hineinzuversetzen.

Der Lichtuhrmacher

Herr K. erfindet und baut Uhren mit dem Anspruch, dass sie allesamt für denselben Ablauf dasselbe Ergebnis liefern. Ob Sanduhr, Sonnenuhr, Wasseruhr, Pendeluhr, Digitaluhr oder Lichtuhr – keine ist vor der anderen ausgezeichnet (bestenfalls hinsichtlich der Genauigkeit und des speziellen Einsatzes).
Herr K. hat die Erfahrung gemacht, dass sich sowohl periodische Vorgänge (Pendel) als auch nichtperiodische Fließvorgänge (auslaufendes Wasser) zum Uhrenbau eignen. Er hat bemerkt, dass Fließvorgänge zu periodischen Vorgängen umgewandelt werden können und umgekehrt. Es scheint hier eine Äquivalenz zu bestehen.
Herr K. hat bei der Analyse von Lichtuhren in jüngerer Zeit versucht, der mysteriösen Zeitdehnung auf die Spur zu kommen, da er solchen Begriff mit seinem Ethos als verlässlicher Uhrmacher nicht vereinbaren kann. Dabei ist er auf die Idee einer Glasfaseruhr gekommen, mit der sich tatsächliche Lichtwege leichter bestimmen und vergleichen lassen.

Die Grundidee der Glasfaseruhr

Läuft ein Lichtsignal durch ein Glasfaserkabel, so handelt es sich (in erster Näherung) um einen nichtperiodischen Fließvorgang und kann zur Zeitmessung genutzt werden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Glas liegt bei 0,7 c, kann aber bereits heute schon durch eine dünne luftgefüllte Röhre längs der Faserachse auf fast Vakuumlichtgeschwindigkeit erhöht werden. Prinzipiell ist diese Luft evakuierbar, so dass in unserer Glasfaseruhr mit Vakuumhohlraum das Licht mit c unterwegs ist.
Vorteil der Glasfaser ist ihre Flexibilität, so dass man nicht an geradlinige Lichtaus-

breitung gebunden ist und das Licht beliebig geformte Wege (Kreise, Spiralen) „fließen“ kann.

Periodische und nichtperiodische Zeitmessung mit der Glasfaseruhr
In einer Glasfaser (mit Vakuumhohlraum) der Länge s läuft Licht mit Vakuumlichtgeschwindigkeit c, so dass mit t = s/v ein Zeitmaß für die Dauer des Vorganges gegeben ist. Der Lichtweg durch 30 cm Kabel wird in 1 Mikrosekunde durchlaufen, entsprechend 300 cm = 3 m in 10 µs. Das flexible Glasfaserkabel bietet nun die Möglichkeit, die Lichtwege nach Bedarf ringförmig „einzurollen“ bzw. schraubenförmig oder in anderer Form anzuordnen.

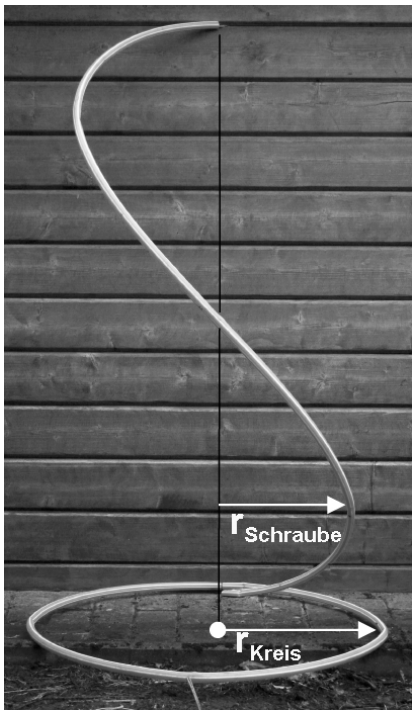


Bild 2.) Wird ein Reifen mit dem Radius r_K durchtrennt, so lässt er sich zu einer Schraube mit dem kleineren Radius r_S verformen. Im Grenzfall geht die Schraubenlinie s in eine geradlinige Strecke der Länge s = u des Kreisumfanges vom Ring über.

Wird die gerade Glasfaser mit s = 3 m zu einem Kreis mit dem Radius r_K = 0,477 m geformt, so läuft jetzt das Licht im Kreis mit der Umlauffrequenz f = 0,1/µs. Aus dem reinen nichtperiodischen ist jetzt ein rein periodischer Vorgang geworden. Die Abzählung der Lichtdurchläufe an einem Punkt lässt sich zur Zeitmessung nutzen.
Zwischen geradem und kreisförmigem Glasfaserkabel gibt es mehr oder weniger gestreckte Schraubenformen, die durch Radien r_S zwischen 0 und r_K charakterisiert sind.
In diesen Schrauben hat die Lichtbewegung eine zusätzliche Eigenschaft und wird jetzt durch zwei Komponenten charakterisiert:

1. Die Geschwindigkeitskomponente des Lichtes in Achsenrichtung ist nichtperiodischer Natur.
2. Durchläuft das Licht eine volle Schraubenlänge im Abstand r_S von der Achse, so ist ein voller Schwingungsvorgang der Frequenz f gegeben, der (selbstredend) periodischer Natur ist.

Herr K. hält fest:
Lineare Lichtbewegung im gestreckten Kabel (nichtperiodisch) und Lichtbewegung im Kreis (periodisch) eignen sich gleichermaßen zur Zeitmessung. Gilt das für die Bewegung in der Spirale ebenso? Wenn ja – lässt sich sowohl die nichtperiodische Komponente wie die periodische nutzen? Oder gibt es Besonderheiten?

Er überlegt:
Da das Licht für die gegebene Glasfaserlänge s = 3 m immer dieselbe Zeit t = 10 µs benötigt, muss das auch für die Spirale gelten. Ist die Spiralenachse z. B. auf s/2 = 1,5 m gestaucht, so erreicht das Licht ebenfalls nach 10 µs diesen senkrecht gemessenen Abstand.
Dasselbe sollte für einen Umlauf des Radiusvektors r_S gelten. Jede Rückkehr zum Ausgangspunkt markiert eine Zeitspanne von 10 µs.
Die Spirale kann also zur Zeitmessung in zweifacher Hinsicht Verwendung finden: Nutzung der nichtperiodischen wie auch der periodischen Lichtbewegung.

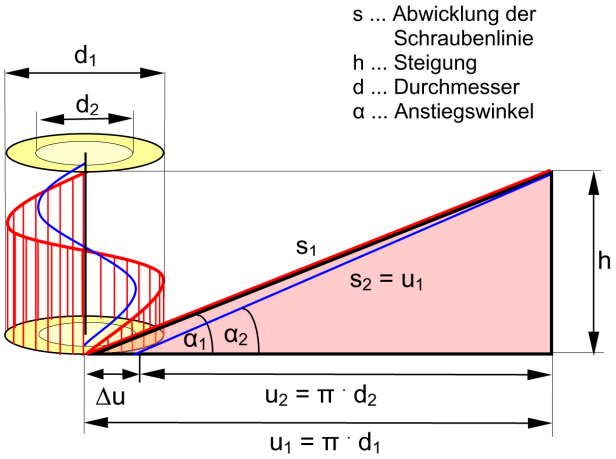


Bild 3.) Die Abwicklung einer Schraube in die Ebene ergibt ein rechtwinkliges Dreieck, das den mathematischen Zusammenhang zwischen Kreisumfang u, Länge der Schraubenlinie s, Steigung h und Anstiegswinkel α verdeutlicht. Die Äquivalenz zwischen Umfang (als Basis periodischer Zeitmessung) und Schraubenlänge (als Basis nichtperiodischer Zeitmessung) muss verloren gehen, wenn der Umfang bei wachsender Steigung konstant bleibt bzw. umgekehrt.

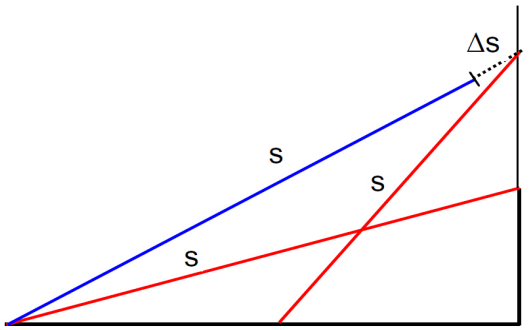


Bild 4.) Wird die Schraube gestreckt, so ändert sich die Länge der Schraubenlinie s nicht (rote Strecken), aber der Durchmesser des Kreises und damit sein Umfang wird kleiner. Soll die Schraube bei konstantem Durchmesser bzw. Kreisumfang gestreckt werden (blaue Strecke), so müsste die Schraubenlinie um Δs verlängert werden.

Der Uhreningenieur schlussfolgert:
Eine Glasfaser-Lichtuhr ist in drei Varianten realisierbar. In jedem Falle wird vorausgesetzt, dass c = konst. und die Lichtleiterlänge s in einer Uhr unveränderlich ist.

a) Der zurückgelegte Lichtweg im Lichtleiter dient als Zeitäquivalent (nichtperiodischer Vorgang).
b) Im kreisförmigen Lichtleiter definiert ein Lichtumlauf (bzw. mehrere) das Zeitmaß. Die Anzahl der Umläufe entspricht der Frequenz (periodischer Vorgang).
c) Durch Öffnen des kreisförmigen Glasfaserkabels und Verformung zu einer Spirale verringert sich zwar der Umlaufradius, nicht aber die Länge der Schraubenlinie (d. h. des Lichtweges). Die Zeitmessung nach Variante a) *nichtperiodisch* wie für b) *periodisch* ist deshalb gleichberechtigt möglich und liefert identische Messergebnisse für Lichtbewegungen entlang der Schraubenlinie.

Aus den bisherigen Überlegungen glaubt Herr K. eine allgemeinere Aussage ableiten zu können:

Das Uhrenprinzip:
Zeitmesser sind abgeschlossene Systeme, in denen Vorgänge periodischer oder nichtperiodischer Art ein Zeitmaß definieren. Werden innerhalb derselben Uhr periodische Vorgänge in nichtperiodische umgewandelt (bzw. umgekehrt), so gilt das Kriterium der Äquivalenz. Unabhängig von der Bauart muss jede Uhr mit anderen Zeitmessern unter gleichen Bedingungen gleiche Anzeigen liefern.

Halten alle bekannten Uhren diesem Kriterium stand? Warum kommt es bei herkömmlichen Lichtuhren zu merkwürdigen Abweichungen, die nicht der Uhr, sondern der Zeit selbst zugeschrieben werden? Ändert sich während des Messvorganges einer (bewegten) Lichtuhr tatsächlich der zu messende Zeitablauf oder hat der Uhreningenieur ein Messgerät gebaut, das unter den geforderten Einsatzbedingungen prinzipiell Abweichungen liefern muss? Oder liegt das Problem in der Interpretation?

Herr K. baut eine herkömmliche Lichtuhr mit Glasfaserkabel
Ein ringförmiges Glasfaserkabel kann nach dem Uhrenprinzip als Lichtuhr gelten, da sowohl „Dauer pro Lichtweg“ (im Ring) als auch „Dauer pro Vorgang“ (Schwingung entlang des Durchmessers) gleiche Messergebnisse liefern. Nun untersucht Herr K. den Lichtweg auf der Schraubenlinie beim gleichförmig fallenden Glasfaserkabel-Ring. Besteht die Uhr auch diesen Spiraltest, d. h. kann auch ein fallender Glasfaserring mit Lichtumlauf als Zeitmesser zugelassen werden?

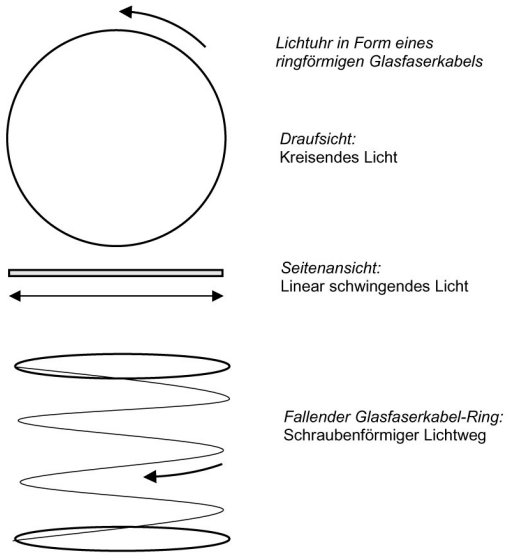


*Bild 5.) Die Glasfaseruhr wird in Form eines Kreisringes gebaut. Es lassen sich periodische wie nichtperiodische Vorgänge zur Zeitmessung nutzen.
Die stabförmige Seitenansicht entspricht einer Projektion, die den Lichtweg in der Uhr (Umfang) auf den doppelten Durchmesser scheinbar verkürzt und c = konst. ignoriert (gleiche Zeit für kürzeren Weg infolge einer Projektion erforderte einen Zeitstauchungsfaktor). Jetzt ist nur noch der periodische Vorgang zur Zeitmessung direkt nutzbar. Die fallende Glasfaseruhr entspricht einer Projektion des kreisenden Lichtpunktes in ein vorüberziehendes System, die den realen Lichtweg verlängert erscheinen lässt. Damit wird der Weg in der Schraubenlinie für jeden Umlauf etwas länger, so dass auch die Umlaufzeit bzw. -frequenz geändert wird. In der Projektion weichen jetzt sowohl periodische wie nichtperiodische Vorgänge von jenen im Glasfaserring ab, zu denen sie doch äquivalent sein sollten. Damit sind sie nicht mehr direkt zur Zeitmessung brauchbar. Akzeptiert man die Anzeige der fallenden Glasfaseruhr als gültig, so muss man die Physik abändern (Zeitdehnung bei bewegten Uhren, Zeitstauchung bei verkürzt erscheinenden Projektionen).*

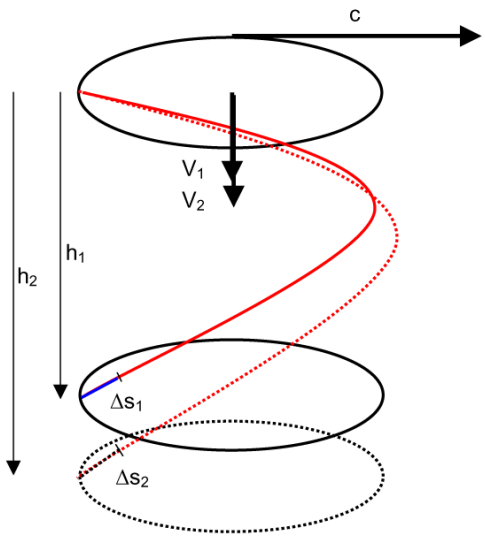


Bild 6.) Die Schraubenlinie des Lichtes ist zu kurz, um den Ausgangspunkt auf der Kreislinie wieder zu erreichen. Diese Schraubenlinie entspricht nicht der Länge eines Glasfaserkabels der Länge des Kreisumfanges. Mit steigender (Fall-) Geschwindigkeit erhöht sich die fehlende Wegdifferenz Δs.

Da das Licht im Ring den konstanten Umfang in gleichen Zeiten zurücklegt, die Spirale aber entweder länger sein oder einen kleineren Radius haben müsste, lässt sich eine solche Spirale nicht zur Zeitmessung benutzen. Die angezeigte Zeit würde abweichend sein von den Messungen mithilfe der Varianten a) bzw. b).

Herr K. kommt zum Urteil:

Ein (gleichförmig) <u>fallender</u> Glasfaserring ist keine zulässige Uhr.
Begründung:

1. *Der Glasfaserring erfüllt bereits alle Anforderungen an eine Uhr.* Die Berücksichtigung einer zusätzlichen (Fall-) Bewegung ist mit zusätzlichen Effekten verbunden, die zwar durch Korrekturfaktoren wieder herausgerechnet werden können, aber für die eigentliche Zeitmessung irrelevant sind. Warum einen bewegten Glasfaserring zur verlässlichen Uhr erklären, wenn diese an Stelle von Zahnrädern, Seilen, realen Lichtbewegungen usw. mit verfälschenden Projektionen arbeitet, die doch letztlich wieder korrigiert werden müssen?
2. *Herr K. verletzt das Berufsethos der Uhrmachergilde verletzt,* wenn jemand scheinbar nachgehende Präzisionsuhren als experimentellen „Beweis“ für eine naturwissenschaftliche Revolution ausgeben will.
3. *Die Bedingung, dass jede Uhr ein abgeschlossenes System sein muss, ist nicht gegeben.* Der eigentlich funktionierenden Uhr „Glasfaserring“ wird zusätzlich eine Bewegung relativ zum Beobachter zugeordnet, so dass die abgelesene Zeit geschwindigkeitsabhängig wird.
4. *Das Prinzip der Äquivalenz ist nicht erfüllt.* Wenn im Glasfaserring eine Zeitbestimmung auf nichtperiodischer Basis exakt mit der seitlich abgelesenen Schwingungsdauer des linear schwingenden Lichtes übereinstimmt, so kann die abweichende Zeit beim Durchlauf in der Schraubenlinie keine gleichwertige Zeitangabe sein. (Es ließen sich ja sonst auch andere Bewegungen für den Glasfaserring denken, etwa die Bewegung entlang einer Linie, die ein Kunstspringer vom Zehnmeterturm bei einem 2 ½ Salto rückwärts mit 3 ½ Schrauben macht. Eine Uhr sollte das nicht beeindrucken dürfen, den naiven Beobachter sehr wohl). Die Äquivalenz zwischen Kreisbewegung im Ring und Schwingung entlang einer Strecke (Durchmesser) ist mathematisch durch die Sinus- bzw. Kosinusfunktion abgesichert. Eine solche Äquivalenz auch zur Bewegung auf der Schraubenlinie existiert nicht, sie muss künstlich durch einen Faktor hergestellt werden – ohne Bezug auf physikalische Abläufe und ohne mathematische Legitimation. Man muss hier notgedrungen die Physik abändern, um wenigstens die Mathematik zu retten. Aber: **Die Erhebung eines Korrekturfaktors zum Naturgesetz liegt außerhalb des Vorstellungsvermögens des Uhreningenieurs Herrn K.**
5. *Das Argument, das Messobjekt „Zeit“ habe sich während der Fallbewegung geändert, ist nicht nachvollziehbar.* Ein Beobachter, der von oben die Lichtbewegung entlang der Schrauben- bzw. Ringachse verfolgt, registriert erwartungsgemäß periodische Kreisumläufe mit der konstanten Zeit T = 1/f. Für einen seitlichen Beobachter erscheint die Lichtbewegung kurios: Die längere Schraubenbahn wird scheinbar in gleicher Zeit durchlaufen. Die Erklärung einer gedehnten Zeit impliziert, dass ein und dasselbe Messobjekt (z. B. Lichtpunkt) durch zwei unterschiedliche Zeitwerte charakterisiert werden darf – angezeigt durch ein und dieselbe Uhrenkonstruktion. Das Argument, nur in Bewegungsrichtung sei die Zeit gedehnt, definiert für jeden bewegten Punkt unendlich viele unterschiedliche Zeitangaben (maximale Dehnung in Bewe-

gungsrichtung, „Normalzeit“ senkrecht dazu und dazwischen winkelabhängig beliebig viele weitere Zeiten). Spätestens hier wird die Theorie konfus und kann dem Uhrmacher nicht mehr als Grundlage seiner Arbeit dienen.

Herr K. ordnet seine Erkenntnisse nach Uhrmacherart

Seine Uhrmacherwerkstatt ist nicht die Welt, weiß Herr K., und es gibt mehr zwischen Himmel und Erde, als ein Uhrenbauer für seine tägliche Arbeit benötigt. Dieser braucht die Kenntnis nachprüfbarer Naturgesetze, handwerkliche Fertigkeiten im Gerätebau und hinreichend mathematisches Rüstzeug, um verlässlich Zusammenhänge zwischen vielen Details seiner Uhrkonstruktionen herzustellen bzw. „voraus zu denken“. Was er nicht braucht, sind theoretisch mögliche Erörterungen vom Schlage „Wie viele Engel können auf einer Nadelspitze tanzen?“ oder „Welche Zeit zeigt meine Höchst-Präzisionsuhr beim Aufschlag auf einen Felsen an, wenn sie in einen tausend Meter tiefen Schacht geworfen wurde?“
Umgekehrt kann er sich vorstellen, dass Theoretiker bei der Konstruktion immer raffinierterer Gedankengebäude eben gerade an solchen Grenzerweiterungen des bereits Gedachten interessiert sind und sich herzlich wenig dabei um praktisch-handwerkliche Belange kümmern. Warum sollte Zeit sich nicht dehnen können? Die Theoretiker finden solche Vorstellungen „elegant“, wenn sie nur in ein entsprechend formvollendetes mathematisches Gewand gekleidet werden können. Selbst die Theorie der Nacktheit hat mal einen Kaiser derart fasziniert, dass er sich fortan in „des Kaisers neuen Kleider“ seinen Untertanen präsentierte, die ihm begeistert huldigten. Das macht deutlich: Jede Theorie ist nackt im Sinne von nichtphysisch und führt ein Eigenleben im Geistigen, das sich gegen die Anmutungen des Physischen (der Physik) rigoros abschottet. Vielleicht gibt sie Anregungen zum Bau einer gänzlich neuen präzisen Zeitanzeige, vielleicht ist sie nur eine in sich kreisende Spielerei, vielleicht aber auch fasziniert sie allein wegen ihrer Nacktheit und führt zu suchtartiger Beschäftigung mit ihr, wobei andere Dringlichkeiten unerledigt bleiben, z. B. die „Zeitdehnung“ kritisch zu hinterfragen und eine korrekte Zeitmessung vorzuschlagen.
Herr K. trägt schwer an seinem Minderwertigkeitskomplex, die Theorie der Zeitdehnung logisch zwar nachvollziehen, aber nicht wirklich begreifen zu können. Er beharrt engstirnig darauf, dass **Physisches und Gedachtes einer Art Äquivalenzprinzip gehorchen müssen, zumindest wenn „Erkenntnis“ das Ziel ist** (und nicht poetische Wohlfühlphysik).
Dass ausgerechnet das so millionenfach diskutierte Phänomen „Zeitdehnung“ in seiner Zunft der zeitverantwortlichen Uhrenkonstrukteure absolut keine Rolle spielt, hält er für ein Indiz für dessen praktische Irrelevanz.
Seine Beschäftigung mit der Glasfaseruhr hat ihn in der Überzeugung bestärkt:

Korrekte Uhren haben niemals eine andere Zeit.
Sonst sind es keine.

08. Die Hamsterraduhr

Als der Uhrenerfinder Herr K. anfing, sich gedanklich mit der Konstruktion einer Hamsterraduhr zu beschäftigen, war für die Theoretiker ein willkommener Anlass gegeben, ihn endgültig als Zeitexperten zu ignorieren oder gar als Crank der Lächerlichkeit preiszugeben. Empörte Tierschützer verschafften sich lautstark Gehör, und die Medien hatten ihre Schlagzeilen und Talkthemen. Dabei diente der Hamster lediglich zur Veranschaulichung eines Antriebprinzips und war leicht durch ein Plüschtier mit Elektromotor zu ersetzen. Leider geriet so das eigentliche Anliegen des Uhreningenieurs (sicher ungewollt) in Vergessenheit, und sei hier noch einmal kurz dargestellt.

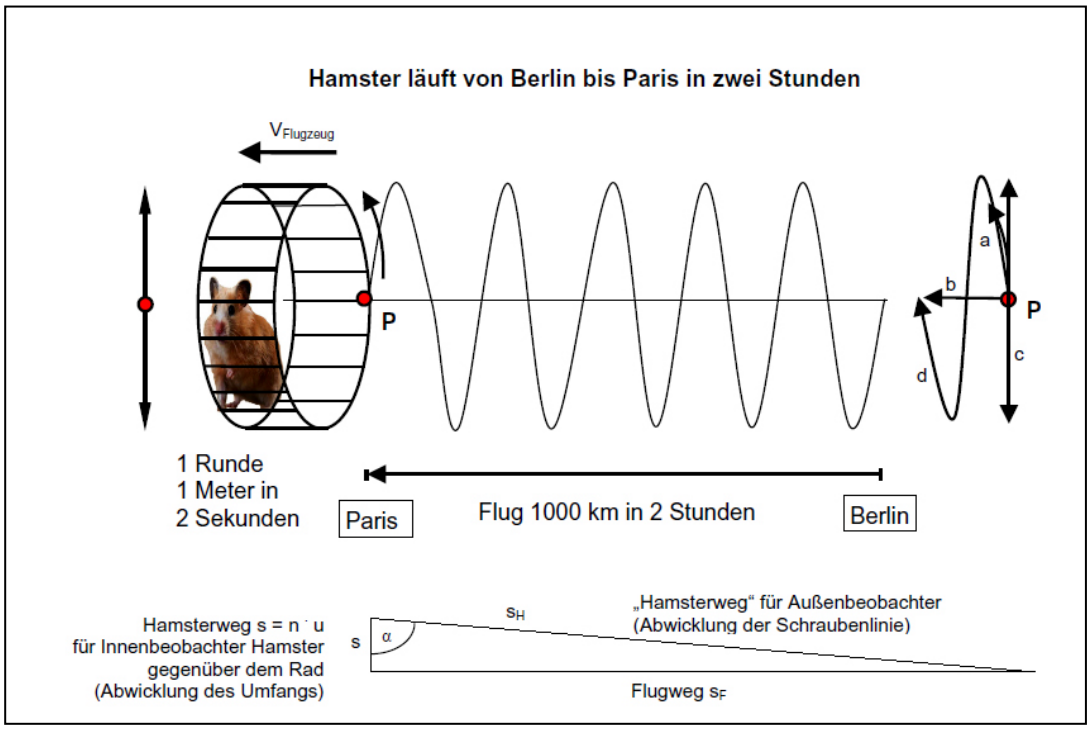


Bild 1.) Für die Bewegung eines einzigen Punktes P auf dem Hamster-Laufrad im Flugzeug von Berlin nach Paris können je nach Beobachter-Perspektive vier Komponenten unterschieden werden: ***a) Kreisbewegung, b) gleichförmige Bewegung, c) Schwingung d) Schraubenbewegung.*** *Tatsächlich läuft der Hamster in zwei Stunden 3,6 km gegenüber seinem Radzylinder (Laufweg s), während ein äußerer Beobachter 1000,648 km entlang einer sehr langgestreckten Spirale wahrnimmt (abgewickelt: Schwerpunktweg s_H). Der Weg eines rotierenden Punktes auf dem Radumfang entlang u = s ist ein Äquivalent des Hamster-Laufweges, der Schwerpunktweg s_H hingegen setzt sich aus Laufweg s und Flugweg s_F zusammen (Hypotenuse). Da diese Strecke s_H offensichtlich zu lang für das kleine Tierchen ist und nicht in zwei Stunden mit Hamstergeschwindigkeit 1,8 km/h zurückgelegt werden kann, schlagen Theoretiker eine gedehnte Hamsterzeit vor. Aber: Ist der Hamster tatsächlich diesen Weg gelaufen? Wenn ja: Welche der vier Punktgeschwindigkeiten* ***a, b, c, d*** *gehen in die Berechnung der gedehnten Zeit ein?*

Läuft der Hamster eine Runde in seinem Laufrad, legt er in 2 Sekunden 1 m zurück. In 2 Stunden liegen 3,6 km hinter ihm. Wurde er während dieser Zeit im Flugzeug 1000 km nach Paris transportiert (Radachse in Fahrtrichtung), so erscheint dem Außenbeobachter der zurückgelegte „Hamsterweg" als eine Schraubenbahn von 1000,00648 km Länge. Problem: Der Hamster müsste mit einer „Hamstergeschwindigkeit" v_H = 500,00234 km/h gelaufen sein, obwohl er von seinen körperlichen Voraussetzungen her nur v = 1,8 km/h schafft. Versuchen wir zunächst die etwas verwickelten Verhältnisse darzustellen.

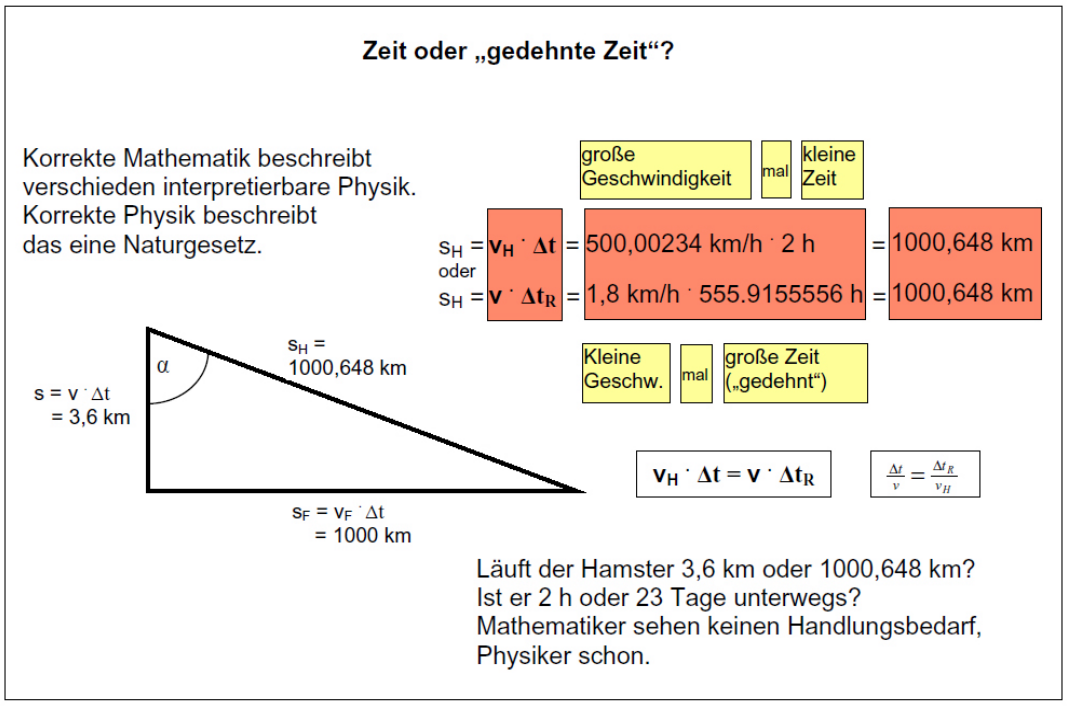


Bild 2.)

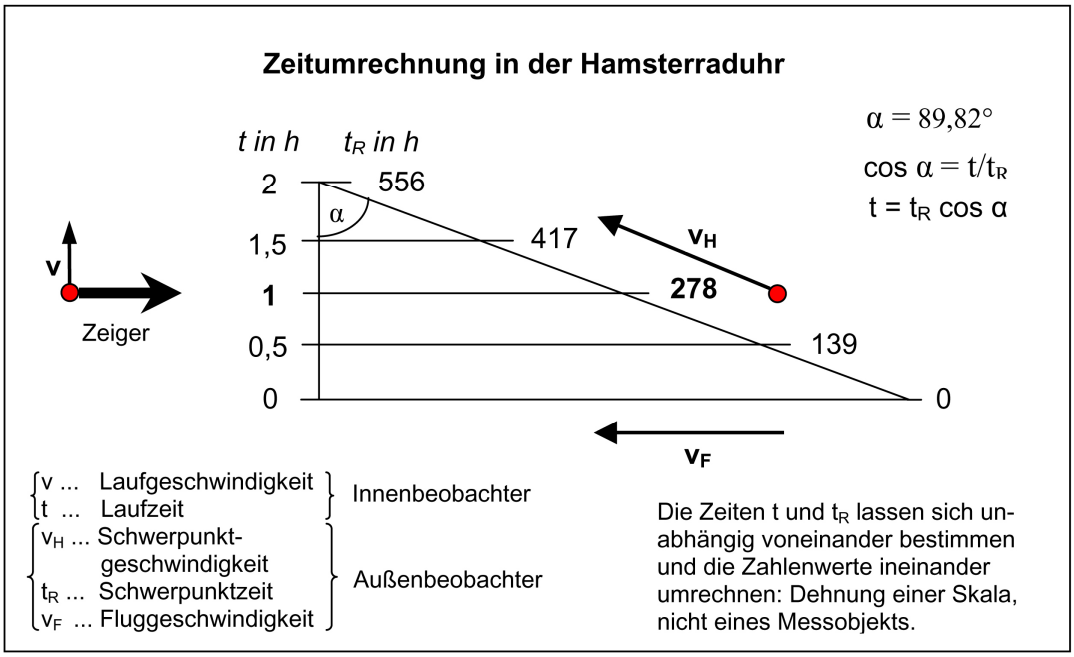


Bild 3.)

Die „Zeitumrechnung“ ist nur eine Skalenumrechnung, wenn zwischen Lauf- und Schwerpunktgeschwindigkeit unterschieden wird. v und v_H beschreiben verschiedene physikalische Aspekte des Überlagerungsvorganges „Hamsterlauf“ und „Flugzeugbewegung“. Dabei kann v_H als eine Phasengeschwindigkeit aufgefasst werden, die größer als die „Hamstergrenzgeschwindigkeit v“ sein kann. Der Hamsterlauf senkrecht zur Flugrichtung bringt den Hamster aus eigener Kraft nicht einen Millimeter Paris näher, so wie auch das Flugzeug keine Sekunde eher das Ziel erreicht. **Der Ablauf zweier eigenständiger Vorgänge wurde hier aufeinander projiziert.**
„Hamster läuft von Berlin nach Paris in zwei Stunden“ ist eine Schlagzeile auf der Basis oszillierender Beobachtungen zwischen Innen- und Außenbeobachter. **Statt Zeitdehnung als Erklärung genügt die Akzeptanz einer Phasengeschwindigkeit, mit der ein Überlagerungszustand schneller als ein physisches Objekt sein kann.**
Die Hamsterraduhr hat bereits Ähnlichkeit mit einer Lichtuhr, unterscheidet sich aber noch in einem entscheidendem Punkt.

09. Die Lichtuhr im Dunkel der Mathematik

Bild 1.) Die Laterne des Philosophen Diogenes steht sinnbildlich für die Suche nach philosophischer Erkenntnis im lebendigen Markttreiben.

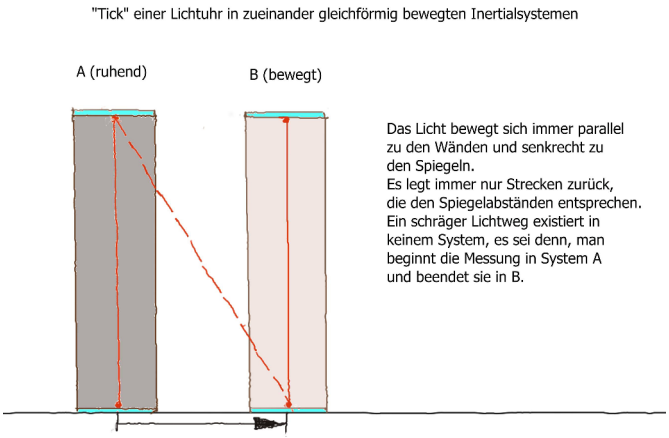


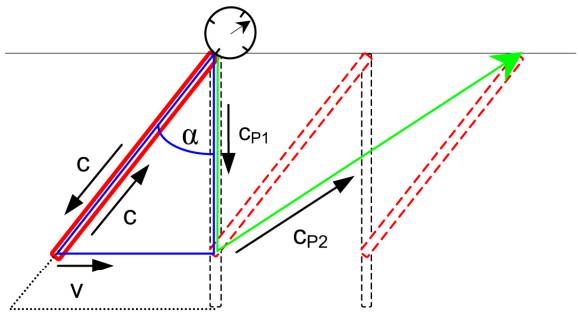
Bild 2.) Die Lichtuhr des Theoretikers Einstein steht sinnbildlich für die Suche nach physikalischer Erkenntnis im abstrakten Denken.

Diogenes hat die „hündische“ (kynische, zynische, bedürfnislose) Lebensweise als einzig wahre zu begründen versucht.
Einstein sah in der Umwandlung von „physikalischer Existenz“ in „mathematische Existenz“ den Königsweg zur Welterklärung: Ist die Lichtuhr mathematisch korrekt berechnet, zeigt sie auch korrekt die natürliche Zeit an, ggf. auch gedehnte.
Die Laterne des Diogenes hat bis heute die philosophische Wahrheit nicht so recht erhellen können, und Einsteins theoretische Lichtuhr wirft mehr Fragen auf als sie dem Physiker Antworten gibt.

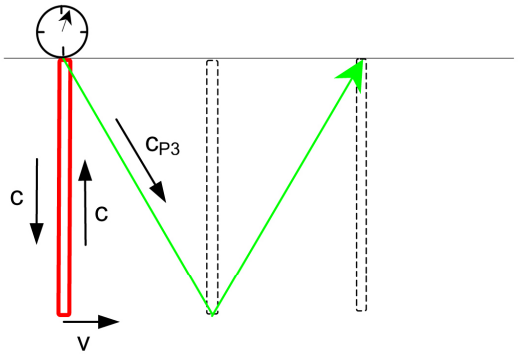
Ein theoretischer Physiker fragte den Uhrenfachmann Herrn K., ob dieser seine Lichtuhr reparieren könne, sie gehe zu schnell – sogar schneller als das Licht. Herr K. untersuchte die Uhr, konnte aber keinen Fehler finden. Der Physiker erklärte, dass die Uhr bei Bewegung senkrecht zur Lichtbewegung doch langsamer gehen müsse, aber sie gehe zu schnell. Jetzt konnte Herr K. die Ursache des zu schnellen Uhrenganges finden: Die Uhr stand etwas schief und bewegte sich nicht exakt senkrecht zur Lichtbewegung. Herr K. wollte dem Phänomen auf den Grund gehen und experimentierte mit stabförmigen Glasfaserlichtuhren, in denen das Licht einen geschlossenen Weg zurücklegt. Dabei kam ihm die Idee zum Bau einer Lichtuhr, die für ruhende wie bewegte Beobachter gleiche Zeiten anzeigt: Ein ringförmiges Glasfaserkabel wird so deformiert, dass zwei gerade parallele Lichtwege entstehen. Er fertigte Skizzen an und kam zu erstaunlichen Erkenntnissen:
Ein mit c schräg nach unten bewegter Lichtpunkt (siehe Bild) läuft in der geometrischen Projektion auf einer kürzeren Senkrechten in derselben Zeit T/2 mit geringerer Lichtgeschwindigkeit (oder gestauchter Zeit?). Danach läuft er in der Projektion den wesentlich längeren Weg zurück mit größerer Geschwindigkeit (oder gedehnter Zeit?). Blendet man nun den „Rückweg“ (schräg nach oben) aus, indem die Glasfaser z. B. von außen geschwärzt wird, so ist die Uhr für Innen- wie Außenbeobachter gleich getaktet. Wird jetzt von Relativisten der zu kurze Lichtweg (grün) bzw. die zu kleine Geschwindigkeit des Lichtpunktes beanstandet (kleiner c, d. h. nicht c = konst.), so müsste ein Zeitstauchungsfaktor zum Ausgleich eingeführt werden, für den Rückweg hingegen ein Zeitdehnungsfaktor – innerhalb ein und derselben Uhr, sogar innerhalb einer einzigen Periode T! Wie lässt sich diese Problematik auflösen?

Zeitstauchung in der Lichtuhr des Herrn K.

Zeitstauchung und Zeitdehnung in Glasfaserlichtuhren



Ein schräg abwärts laufender Lichtpunkt wird vom Außenbeobachter senkrecht wahrgenommen mit geringerer Lichtgeschwindigkeit oder gestauchter Zeit.



Ein senkrecht abwärts laufender Lichtpunkt wird vom Außenbeobachter schräg wahrgenommen mit größerer Lichtgeschwindigkeit oder gedehnter Zeit.

Bild 3.a) Schräge Lichtuhr läuft mit v nach rechts, so dass c senkrecht auf v erscheint.

Bild 3.b) Senkrechte Lichtuhr läuft mit v nach rechts, so dass ein schräger Lichtweg erscheint.

Geschwindigkeitsbetrachtung (Voraussetzung: $c_P \neq c$ sei zugelassen)

$c > c_P$	$c < c_P$	
$c_P^2 = c^2 - v^2$	$c^2 = c_P^2 - v^2$	
$c_P = c\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$	$c = c_P\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$	Korrekturfaktoren identisch

Zeitbetrachtung (weil $c_P \neq c$ wegen c = konst. in SRT nicht zugelassen ist)

Zeitstauchung ($t > t_S$)	Zeitdehnung ($t < t_R$)	
$c^2t^2 = c^2t_S^2 + v^2t_S^2$	$c^2t^2 = c^2t_R^2 - v^2t_R^2$	
$t = t_S\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}$	$t = t_R\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$	Korrekturfaktoren Verschieden

Vergleich Zeitstauchung und Zeitdehnung

v/c	t	t_S	t	t_R
0	1,0	1	1,0	1
0,1	1,00498	1	0,99498	1
0,5	1,11803	1	0,86603	1
0,8	1,28062	1	0,60000	1
0,9	1,34536	1	0,43588	1
0,999	1,41350	1	0,04471	1
1,0	1,41421... = $\sqrt{2}$	1	0	1

Die Einführung einer Zeitdehnung sollte eigentlich das Postulat c = konst. retten – auch bei Projektionen von Vorgängen in andere (relativ bewegte) Inertialsysteme. Konsequenterweise hätte das aber auch die Einführung einer Zeitstauchung in bestimmten Fällen erfordert. *Neues (absurdes) Ergebnis:* ***Bewegte Uhren gehen langsamer oder schneller – es kommt nur auf den Neigungswinkel α an.***

Auswertung:
Natürlich lassen sich durch Präzisierung der Gültigkeitsbedingungen der SRT schräg stehende Lichtuhren als unzulässig ausschließen.
Doch als praktischer Uhrmacher stand Herr K. der postulierten „Zeitdehnung“ schon immer skeptisch gegenüber. Nun wollte er mit der Postulierung einer „Zeitstauchung“ nicht noch mehr Verwirrung stiften und suchte nach tiefer liegenden Ursachen für die Phänomene, die beide Zeit-Manipulationen überflüssig machten. Welcher prinzipielle Denkfehler (bzw. welche Denkabsicht?) könnte sich hinter den merkwürdigen Interpretationen von „Beobachtungen“ verbergen, so dass von „Naturerklärung“ immer weniger die Rede sein kann?

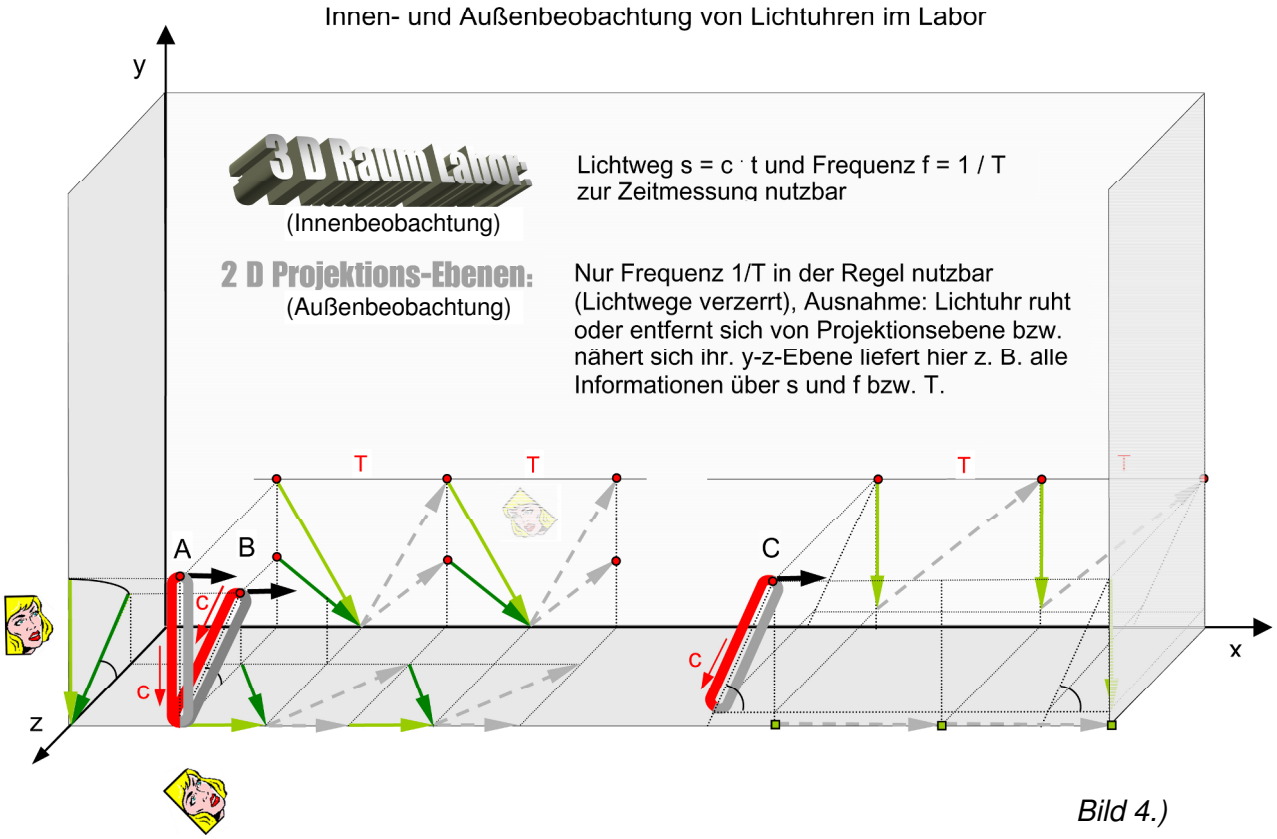


Bild 4.)

Bild 4.) zeigt ein ruhendes Labor mit Projektionswänden. Im Labor bewegen sich drei verschieden geneigte Lichtuhren A, B und C gleicher Bauart und gleicher Geschwindigkeit nach rechts. Drei ruhende Beobachterinnen außerhalb des Labors registrieren die Lichtpunktbewegungen als Projektionen auf die Ebenen xy, xz und yz. Konzentriert sich der Leser auf eine der Lichtuhren, so kann er (nur durch Augenbewegung nach rechts) gedanklich mitreisen und quasi als Innenbeobachter die Länge des Lichtweges in der Uhr und die Periodenlänge T feststellen.
Der Leser kann aber auch eine der drei Projektionsflächen fixieren und dabei auf den Innenwänden des Labors genau das wahrnehmen, was auch die drei unabhängigen Außenbeobachterinnen sehen. Von solch privilegiertem Standpunkt, der Innen- wie Außenbeobachtung gleichermaßen gestattet, fallen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Wahrnehmung sofort ins Auge. Man ahnt, dass von „gleichberechtigten Beobachtern“ wohl kaum die Rede sein kann.

- Während es für den mit der Uhr mitbewegten Innenbeobachter bezüglich der Uhreigenschaften keine Probleme gibt, beginnt die Außenwahrnehmung be-

reits mit der Auswahl einer der drei Projektionsflächen. Gewöhnlich beschränkt man sich auf die xy-Ebene und nimmt die Wahrnehmungen dort als Grundlage einer Physikrevolution: Projektion des Lichtpunktes von Uhr A zeigt einen längeren Lichtweg (hellgrüner Pfeil) als den der Lichtuhr, was wegen c = konst. nicht sein kann. Aber woher weiß denn der Außenbeobachter, wie lang die Uhr ist? Er sieht doch nur die Projektion eines Lichtweges, nicht den Lichtweg selbst.

- Die Entscheidung des Außenbeobachters für diese oder jene Projektionsfläche ist zwingend: Der Einsteinzug muss entweder seitlich vom Bahnsteig *oder* von unten zwischen den Schienen liegend *oder* auf sich zurasend bzw. entfernend beobachtet werden. Jede Perspektive zeigt spezielle Eigenschaften von den Vorgängen im Zug, die erst durch Interpretation (vorläufige) Erkenntnis vermitteln kann.
- Für die xz-Beobachterin der Uhr C ergibt sich z. B. die Wahrnehmung eines während T/2 leuchtenden Punktes, der dann für weitere T/2 verlischt, um weiter rechts wieder aufzutauchen usw. Hier bewegt sich der Punkt selbst nicht kontinuierlich nach rechts, sondern „hüpft“ gleichsam von Ort zu Ort: Obwohl die Uhr C nach rechts läuft und in ihr ein Lichtpunkt ebenfalls eine entsprechende Geschwindigkeitskomponente haben muss, ist in dieser Projektion kein Indiz zu erkennen, das auf eine konstante Lichtbewegung mit c hindeutet.
- Die xy-Beobachterin hingegen kann für die Uhren A und B Original-Lichtwege und Periodendauern T messen.

Jeder Außenbeobachter ist auf Projektionen, das heißt auf indirekte Informationen aus zweiter Hand angewiesen. Er kann nicht das Maßband am vorüber rasenden Einsteinzug anlegen oder die Länge einer schnell bewegten Glasfaserlichtuhr direkt messen. Aus diesem prinzipiellen Grunde sind seine Aussagen weniger informativ als die des Innenbeobachters, das heißt des Experimentators, der direkten Zugang zum Messobjekt hat.
Darüber hinaus gibt es nicht „den“ Außenbeobachter, der die xy-Ebene fixiert und mit Relativgeschwindigkeit gegenüber den Uhren bewegt ist, sondern eben noch zwei weitere: Diese beobachten die Projektionen in der xz- bzw. yz-Ebene derselben Uhren. Deshalb kann die Außenwahrnehmung (und daraus abgeleitet die Erkenntnis) in dreifacher Hinsicht erfolgen – je nach Beobachtungsebene. Außenbeobachter unter sich könnten z. B. streiten, ob die Lichtpunkte in Uhr C nun tatsächlich „hüpfen“ oder kontinuierlich laufen oder ob man einen Dualismus annehmen müsse oder ... ob man vielleicht die Berechtigung des benutzten Erkenntnisprinzips hinterfragen müsse:
Sind Wahrnehmungen von jeglichen Beobachtern tatsächlich gleichberechtigte Informationen zur direkten Ableitung von Naturgesetzen? **Oder haben nicht alle Beobachter zuerst die Pflicht, jede Wahrnehmung zu reinigen von Perspektivfehlern bzw. Projektionsverzerrungen?** Dann aber sollten alle Beobachter zu einer gemeinsamen Naturbeschreibung gelangen, die letztlich den Namen „Naturgesetz“ verdient. Lehrbuchaussagen wie „Die Zeitdilatation ist ein allgemein geltendes Naturgesetz“ (Metzler, Physik) entpuppten sich dann als Regionalphysik eines intelligenten Beobachters der xy-Ebene, der zwar unter gleichen Umständen immer Gleiches sieht und es deshalb für gesetzmäßig hält, aber dabei den feinen Unterschied zwischen „Ereignis“ und „Projektion des Ereignisses“ übersehen hat. In solcher Regionalphysik ist die Befindlichkeit des Beobachters (seine Relativbewegung zum Ereignis) enthalten, so dass letztlich jeder relativ bewegte Beobachter nicht nur seine Privatzeit, sondern auch seine Privatlänge und Privatmasse hat. Eine solche Auffassung ist zwar

möglich und mathematisch formulierbar, widerspricht aber dem Prinzip von der Einheit der Physik. Da geht es ja gerade um die Abstrahierung vom Privaten, Besonderen – hin zum gemeinsamen Merkmal, das als Naturgesetz für alle Ereignisse gleichen Typs unter gleichen Umständen gelten kann – unabhängig von der Beobachterperspektive.
In der Folge solcher Regionalphysik ist die rein formale (nicht physikalische) Transformationsproblematik zu lösen: Wie können sich die vielen Privatphysiker untereinander verständigen? Da sich die Relativitätstheorie in der Regel nur auf den einen Fall beschränkt, wo die Projektionen auf die xy-Ebene berücksichtigt sind und Lichtuhren nicht schräg stehen dürfen, kommt man mit einer einzigen Transformation aus, der Lorentztransformation. Diese wurde so konstruiert, dass sie den zu langen schrägen Lichtweg (der in Wirklichkeit ein projizierter Lichtweg ist) durch postulierte Zeitdehnung zurechtstutzt, gleichzeitig aber auch den Grenzwert c berücksichtigt, so dass v nicht größer als c werden darf. Dafür mussten der Lichtgeschwindigkeit die Vektoreigenschaften aberkannt werden – man darf c vektoriell nicht mehr addieren. Solch Sonderstatus einer physikalischen Größe passte dann auch zufällig zum kulturell längst etablierten „Mythos Licht“.

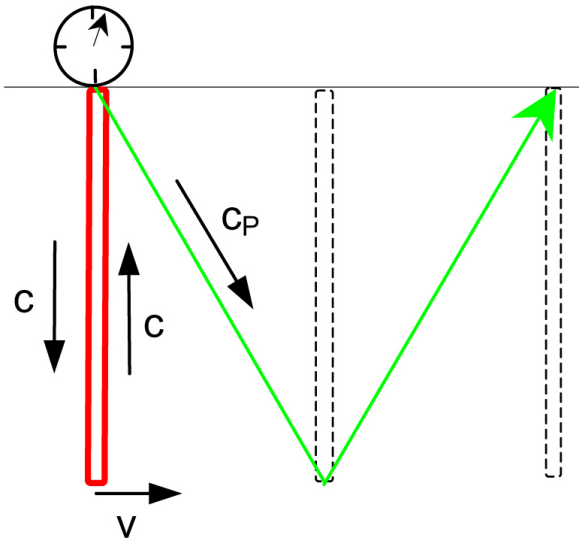


Bild 5.) Wahrnehmung aus der xy-Ebene für senkrechte Lichtuhr: Lichtpunkt bewegt sich während T/2 mit (mathematischer) Projektionsgeschwindigkeit $c_P > c$ schräg nach rechts unten, danach wieder mit $c_P > c$ schräg nach oben.

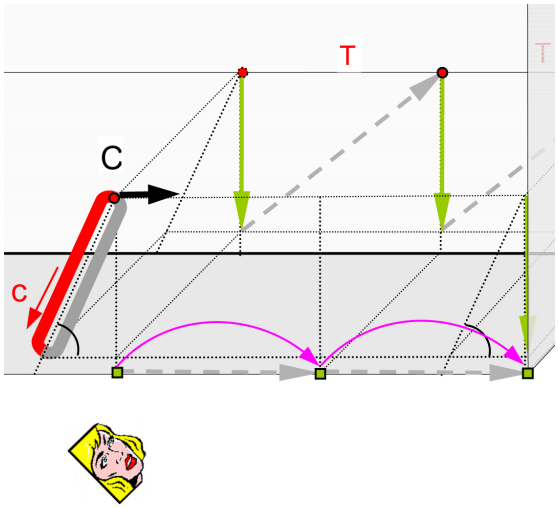


*Bild 6.) Wahrnehmung aus der **xz-Ebene** für Lichtpunkt-„Hinweg“ einer geneigten Lichtuhr: Ortsfester (grüner) Lichtpunkt leuchtet T/2 (d. h. die Projektionsgeschwindigkeit c_P ist Null) und verlischt für die Dauer T/2, „hüpft“ nach rechts und leuchtet wieder T/2 an neuem Ort usw.*
Für einen vollen Umlauf gilt:
Ortsfester Lichtpunkt leuchtet T/2, bewegt sich plötzlich konstant nach rechts während T/2, verharrt wieder an neuem Ort usw.

Die SRT argumentiert fast ausschließlich mit Bewegungen relativ zur xy-Ebene, so dass für c = konst. nur eine Transformationsgleichung genügt. Andere Projektionen erfordern aber andere Gleichungen.
Die Lorentztransformation wandelt jetzt mathematisch korrekt einen „projizierten Lichtweg“ in der xy-Ebene in einen „Lichtweg“ z. B. in einer Lichtuhr um. Das Verfahren ist nicht zu beanstanden, wohl aber die Gleichsetzung von „Lichtweg“ (physikalisch) und „projizierter Lichtweg“ (im mathematischen Sinne). Das macht Aussagen möglich, die dem Naturgeschehen nicht immer entsprechen. Die Beobachterinnen nehmen völlig Unterschiedliches vom selben Ereignis wahr.

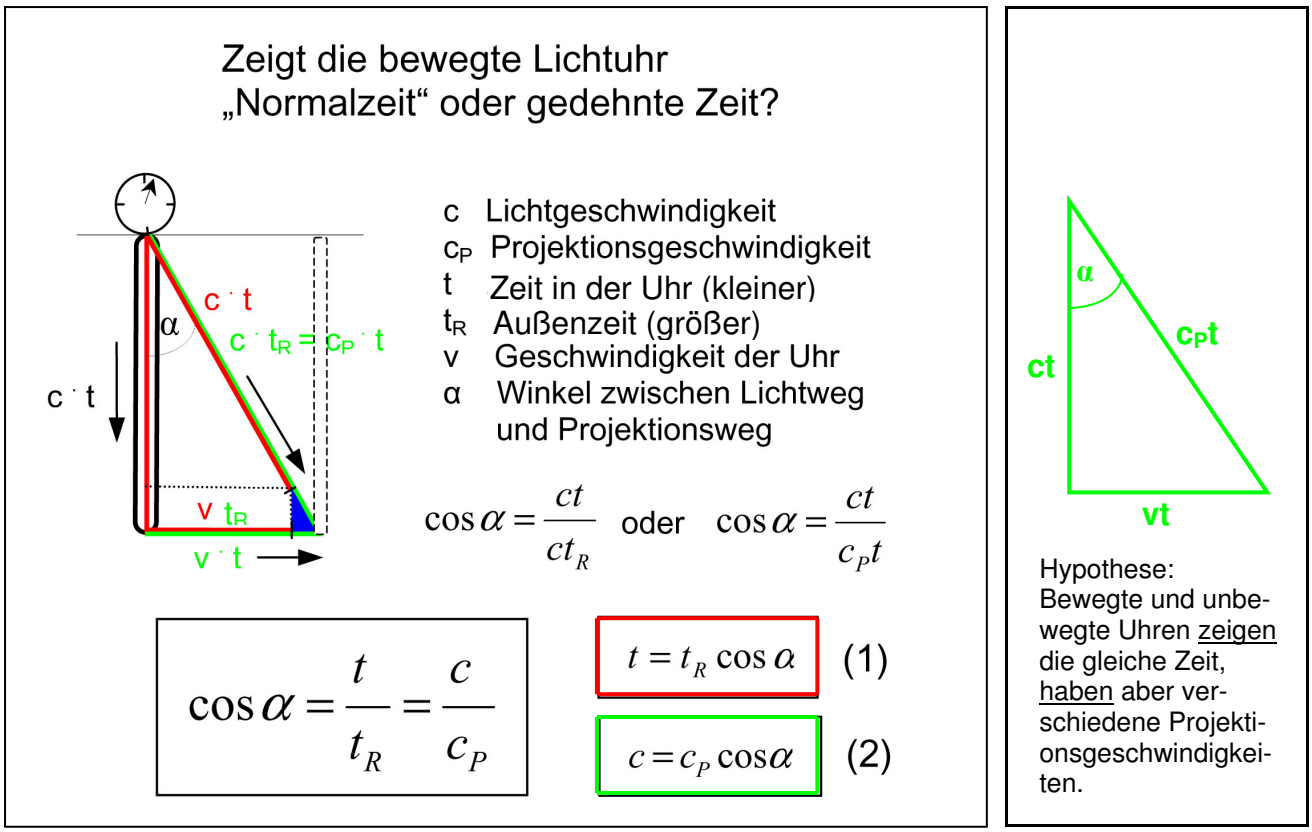
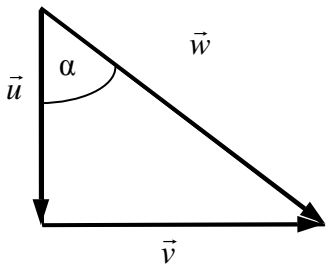


Bild 7.) Dreh- und Angelpunkt der SRT ist die Auffassung, dass es das rot skizzierte Dreieck infolge c = konst. in der Mathematik und also auch in der Physik nicht geben kann: Ihm fehlt immer die blau markierte Ecke. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Hypotenuse ein Lichtweg ist, nicht ein Projektionsweg. Zur mathematischen Korrektur muss c oder t manipuliert werden. Wegen c = konst. kommt angeblich nur t in Frage mit $t < t_R$. Mathematisch gleichwertig ist aber auch die Manipulation von c mit $c < c_P$. Diese Interpretation als schnellere Projektionsgeschwindigkeit ist experimentell nachprüfbar und stimmt mit der Erfahrung von schnelleren Phasengeschwindigkeiten überein. Sie steht nicht im Widerspruch zu c = konst. Mit dieser Interpretation fallen wieder alle begrifflichen Unterschiede zwischen t und t_R weg (Zeit der bewegten Uhr und Zeit ruhender synchronisierter Uhren). Es bleibt die eine physikalische Zeit t für alle Beobachter erhalten. Nicht erhalten bleibt allerdings der „Mythos Licht“ aus physikalischer Sicht, da sämtliche elektromagnetischen Ausbreitungsphänomene ohne Zusatzpostulate erklärbar werden.

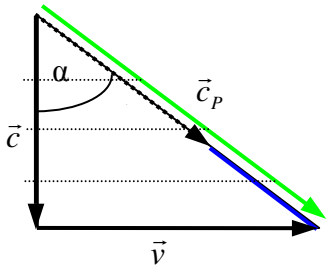
Die bisherigen Betrachtungen legen nahe, dass als Korrekturfaktor zwischen t und t_R bzw. zwischen c und c_P die Beziehung cos α ausreichend sei. Doch die Sache ist noch um eine Nuance verwickelter.
Der tatsächlich benutzte Lorentzfaktor ist so konstruiert, dass er noch zusätzlich einem weiteren Postulat gerecht wird: „Nichts ist schneller als das Licht“, d. h. auch die Uhrbewegung mit v darf nicht schneller als c sein. Zusätzlich zur Zeitmanipulation muss nun auch noch der Geschwindigkeitsbegriff so „angepasst“ werden, dass die neuen postulierten Naturgesetze wenigstens theoretisch widerspruchsfrei sind. Damit führen zwei Fehlinterpretationen physikalischer Vorgänge wieder zu richtigen Gleichungen zur Voraussage künftiger Ereignisse (Zeitdehnung wurde eingeführt, nachdem man die physikalische Konstanz von c *in* einem System unzulässig auch *zwischen* sämtlichen relativ zueinander bewegten abstrakten Koordinatensystemen postuliert hatte).

Bild 8.a) Vektoraddition beliebiger Geschwindigkeiten



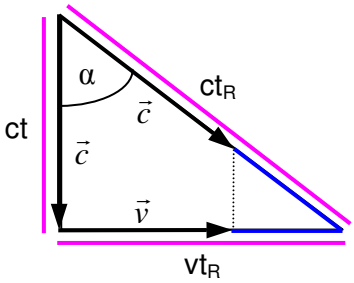
$$\vec{w} = \vec{u} + \vec{v}$$

Bild 8.b) Vektoraddition von Geschwindigkeiten einer bewegten Lichtuhr



$$\vec{c}_P = \vec{c} + \vec{v}$$

Bild 8.c) Vektoraddition von Geschwindigkeiten nicht möglich



Die drei Geschwindigkeitsvektoren c, c und v ergeben kein Dreieck. ct_R und vt_R sind Wege mit anderer Zeit als bei ct. Addition physikalischer Größen setzt aber gleiches Maßsystem von Summand und Summe voraus.

Fall a)

Vektoraddition ist definiert für gerichtete Größen innerhalb eines definierten Systems. Den abstrakten Pfeildarstellungen lassen sich gleichartige physikalische Größen zuordnen wie Wege *oder* Geschwindigkeiten, nicht aber Wege *und* Geschwindigkeiten innerhalb einer Summe.

Fall b)

Geschwindigkeitsvektoren von elektromagnetischen Wellen (Licht) stehen definitionsgemäß senkrecht auf der Schwingungsebene der erzeugenden Dipolschwingung bzw. der Wellenfronten. In der bewegten Lichtuhr senkrecht nach unten laufendes Licht kann in der Glasfaser seine Richtung nicht ändern. Der Vektor bleibt senkrecht – auch bei Uhrbewegung mit v. Ein Schwenk des Vektors um α findet nicht statt, da der winzige Dipol (Schwingung im Atom, die eigentliche Quelle) nicht geschwenkt wird. Die Fronten laufen weiter senkrecht zum Vektor nach unten, wobei ein von außen beobachteter „Lichtpunkt“ nach rechts rückt und eine Bewegung entlang des grünen Pfeils zu machen scheint. Dieser Pfeil repräsentiert eine Projektionsgeschwindigkeit $c_P > c$ eines Ereignisses auf einen relativ bewegten Hintergrund, nicht das Ereignis selbst. **Wellenfronten und Front-Geschwindigkeit stehen hier nicht senkrecht aufeinander, so dass es sich nicht um ein physikalisches Ereignis „Licht“ handeln kann**, aber um eine Phasen-Geschwindigkeit mit Betrag und Richtung, also einen Vektor. Eine vektorielle Addition von verschiedenen Geschwindigkeiten (hier: Lichtfront und Phase) ist möglich.

Fall c)

Eine Vektoraddition mit Summanden und Summe, deren Zeitabläufe unterschiedlich definiert sind und notwendig nicht gleichartige Größen sein können, ist nirgendwo verbindlich definiert. Die verwendete Lorentztransformation ist ein mathematisches Konstrukt, um die Ergebnisse einer nicht zugelassenen Operation wieder zu berichtigen. Die Ableitung mit dem Pythagoras geht bereits von unterschiedlichen Zeitarten t bzw. t_R aus und muss die Dreieckseiten ct, vt_R und ct_R nutzen, da die drei Geschwindigkeitsvektoren von c, v und c kein Dreieck bilden, schon gar kein rechtwinkliges.

$$\sqrt{c^2t^2} = \sqrt{c^2{t_R}^2 - v^2{t_R}^2} \qquad t = t_R\sqrt{1 - v^2/c^2}$$ *Lorentzfaktor „beweist“ v < c .*

Fazit:
Die Lichtuhr des Theoretikers Einstein sollte den Geist der Skeptiker mit brillanter Mathematik erhellen und wohl auch den Mythos Licht durch wissenschaftliche „Beweise“ festigen. Ein in sich geschlossenes Theoriengebäude „Relativitätstheorie“ war nun augenscheinlich auch physikalisch hinreichend begründet, denn die Mathematik wurde plausibel auf Naturvorgänge projiziert.
Diese Herangehensweise war neu: Traditionell versuchten Physiker stets, Messdaten mathematisch zu strukturieren, das heißt sie auf eine mathematische Struktur abzubilden. Gegebenenfalls musste nachgebessert werden. Noch Max Planck wurde durch eine Strahlungsformel berühmt, die er nach eigener Aussage durch Kombination vorhandener Gleichungen durch „glückliches Erraten“ fand. Priorität hatte also um 1900 noch das tatsächlich Gemessene. Die SRT näherte sich den Naturphänomenen von der entgegengesetzten Seite. Zuerst die Axiome, die Formel, dann ein paar dürftige Zeugenaussagen von Außenbeobachtern aus einer einzigen Perspektive – und schon rief ein kleiner Kreis Gleichgesinnter die Physikrevolution aus. Bei widersprüchlichen Aussagen entscheiden jetzt Autoritäten*: „Was beobachtbar ist, entscheidet die Theorie.“ (Einstein)*
Damit ist eine radikale Kehrtwende im Selbstverständnis der Naturwissenschaft Physik eingeleitet: An die Stelle der Ursachenforschung von unbekannten Phänomenen tritt eine bekannte Logik, die über das Beobachtbare in der Natur entscheidet.
Die oben dargestellten Untersuchungen des Uhrenfachmannes K. lassen ahnen, dass sich die Natur auf diese Weise nur sehr eingeschränkt erkennen lässt – zu viele Aspekte werden ausgeblendet, da sie von der Theorie nicht zugelassen bzw. nicht bemerkt worden sind.
Die Glasfaserlichtuhr eröffnet die Möglichkeit realer Experimente, um Gedankenexperimente bestätigen bzw. ad absurdum führen zu können.

Und exakt hier scheiden sich die Geister. Die einen folgen der Lehrmeinung und setzen „mathematische Existenz“ gleich „physikalischer Existenz“, die anderen setzen „physikalische Existenz“ vor „mathematische Existenz“. Während die einen vollständig ihrem Mathematikkonstrukt vertrauen und bei Widersprüchen sogar bereit sind, die vorgefundene Natur zu leugnen bzw. abzuändern, prüfen die anderen erst mal die benutzten Erkenntnismittel (Theorieansatz, Experimentiermethode usw.) auf Fehler bzw. Eignung zur Untersuchung des Gegenstandes.
Diese Skeptiker sind sich zwar einig in der Ablehnung solch reiner Theoriedominanz und ihrer absurden physikalischen Folgerungen, aber ziemlich uneins in der Interpretationsmethode für die Naturvorgänge. In der Folge gibt es zwar eine Fülle von alternativen Vorschlägen, aber keine strukturierte allgemeine „Lehre“, der man ja instinktiv auch wieder mit Misstrauen als „Theorie“ begegnen würde. Das hat auch zu tun mit dem „modernen“ Standpunkt der offiziellen Naturwissenschaft Physik, die diesbezüglich keinerlei Handlungsbedarf sieht.

Einsteins Buch „Evolution der Physik“ bedarf einer Fortsetzung. Es spannt einen Bogen von den Anfängen naiver Naturbetrachtung über die klassische Physik und feiert schließlich die Mathematische Physik inclusive Relativitätstheorie als vorläufigen Höhepunkt. Ein Jahrhundert später ist die Entwicklung weiter gegangen. Die Priorität der Mathematik wurde zur allgemeinen Anerkennung gebracht und versteigt sich nun unwidersprochen zu Aussagen wie: „Alles mathematisch mögliche ist in irgend einem Universum realisiert.“ Also lebt Elvis Presley noch irgendwo, und jeder von uns hat unendlich viele Doppelgänger in unendlich vielen Paralleluniversen – mathematisch

exakt bewiesen (Vilenkin). Sogar eine Weltenschöpfung aus dem Nichts – einer Singularität – ist akzeptierter Diskussionsstoff unter Mathematischen Physikern.
Als die Platonsche Büchse der reinen Ideen auch für die Physik geöffnet werden sollte, erkannte als erster Max Planck das ungeheure Potenzial der Relativitätstheorie für dieses Unternehmen und protegierte kraft seiner Ämter in Berlin und Rom entsprechende Initiativen. Sànchez Sorondo, der heutige Kanzler der Päpstlichen Akademie, wurde gefragt, was die Höhepunkte der Akademie seit ihrer Neugründung durch Pius XI. im Jahr 1936 waren. Seine Antwort: *"Ihre fruchtbarste Zeit war meiner Meinung nach die Zeit, in der sie von Max Planck, dem Vater der Quantentheorie, geleitet wurde."* (30 Tage in Kirche und Welt, März 2009)

Dieses Potenzial der reinen Theorien als Kraftquell für die Naturerkenntnis *und* der Belebung von Metaphysik ist heute ausgereizt und verliert sich mehr und mehr in reiner Spekulation. Bei allem Bemühen, irgend einen Nutzen daraus zu ziehen, bleibt es bei marginalen Belustigungen (Zwillingsparadoxon) oder Pseudoerklärungen (Zeitdehnung beim Myonenzerfall). Der immense Preis, den die Physik gezahlt hat an Aufwand und verlorener Glaubwürdigkeit, hat sich in keiner Weise ausgezahlt – weder für die Naturerklärung, noch im spirituell-kulturellen Bereich: Welchen Wert hat ein Mythos, dessen faszinierende Wunder mit passenden Postulaten mühsam herbeigerechnet werden müssen? Welche Überzeugungskraft hat eine Naturwissenschaft, die nur bei einschneidenden Regeländerungen und Austausch ihrer Basisbegriffe etwas erklären kann? „Gebt mir einen festen Punkt und ich bewege die Erde!“ „Gebt mir die Lizenz zur beliebigen Zeit-, Raum- und Massedefinition und ich erkläre euch das Universum!“

Bild 9.) Ein großes Ereignis (Jahr des Lichts 2015) wurde von den kleinsten Staaten Liechtenstein und Vatikan auf kleinstmöglicher Fläche (Briefmarke) groß in Szene gesetzt: Liechtensteins Marke fluoresziert, leuchtet, zeigt Lichtbeugung und wechselt bei UV- Bestrahlung die Farbe von Rosa zu Violett. Die Vatikanmarke setzt den Mythos Licht in Szene und verbindet „Erforschung der Naturphänomene“ mit „Erschaffung der Gestirne als ewiges Zeichen für den Schöpfergott“.

Bild 10.) „Der Heilige Stuhl ist aktiver Teil und Protagonist der internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft, die sich der Erforschung der Naturphänomene und ihrer Implikationen und Einflüsse auf das menschliche Leben widmet; Die von der Vatikanstadt ausgegebene Gedenkbriefmarke zeigt ein Detail des von Michelangelo auf dem Deckengewölbe der Sixtinischen Kapelle gemalten Freskos der Erschaffung der Gestirne, als ewiges Zeichen für den Schöpfergott, woher alles kommt und wohin alles geht. Und genau am Anfang der Bibel finden wir die Worte: Gott sprach: »Es werde Licht.« Und es wurde Licht. Gott sah, dass das Licht gut war. Gott schied das Licht von der Finsternis und Gott nannte das Licht Tag und die Finsternis nannte er Nacht. Es wurde Abend und es wurde Morgen: erster Tag. (Gen 1, 3-5).“ (www.vaticanstate.va)

Die Evolution der Natur folgt den äußeren Gegebenheiten, die zu nicht geringen Teilen durch die Evolution selbst erst entstanden sein können. Gilt das nicht auch für die Physik? Welche Wendung könnte die Evolution der Physik nehmen angesichts der ausgelaugten Basis von blutleeren Theoriekonstruktionen, die nicht einmal mehr den Praxistest fürchten müssen? Alles mathematisch mögliche ist doch per Voraussetzung realisiert bzw. realisierbar.
Evolutionen beanspruchen viel Zeit. Auch die längst kritisch gesehene Mathematikgläubigkeit der Physiker wird noch lange diese „Naturwissenschaft“ dominieren, obwohl sie eigentlich schon längst zur „Geisteswissenschaft“ tendiert. Ob eine solche Tendenz gewollt ist oder nicht hat kaum Einfluss auf die Evolution – diese folgt eigenen Gesetzen. Beeinflussen lässt sich bestenfalls der Zeitverlauf. Als im antiken Griechenland bereits erkannt war, dass die Erdkugel nicht der physikalische Mittelpunkt des Universums sein kann, lehrte man dennoch unverdrossen noch 2000 Jahre das Ptolemäische Weltbild weiter. Es passte einfach besser zum Selbstverständnis einer etablierten Kultur. (Ptolemäus wird zuweilen heute noch mit der Relativitätstheorie gerechtfertigt: Das Inertialsystem sei doch frei wählbar).
Als die klassische Physik bereits seit langem erkannt hatte, dass es einen Unterschied zwischen Wellengeschwindigkeit und Phasengeschwindigkeit gibt, lehrte man dennoch bis heute unverdrossen die SRT. Diese kennt nur Lichtgeschwindigkeiten und kommt deshalb zu absurden Naturerklärungen, die einfach auf Dauer keinen Bestand haben können. Man kann auf diese Absurditäten aber offensichtlich noch nicht verzichten. Die SRT bekräftigt z. B. mit „Zeitdehnung“ den Mythos Licht und passt damit einfach besser zum Selbstverständnis unserer etablierten modernen Kultur. Wieder einmal ist die spezielle physikalische Erkenntnis (Wellennatur des Lichts) der allgemeinen kulturellen Entwicklung voraus und muss deren Reifeprozess abwarten. Umgekehrt muss die allgemeine kulturelle Entwicklung bereits einen hohen Stand erreicht haben, bevor aus diesem Nährboden eine spezielle physikalische Erkenntnis hervorschießt, die das Provisorium „Relativität“ ablösen kann.

Einstein hat mit der Relativitätstheorie zwar eine passende „Erklärung“ bestimmter Phänomene zu geben versucht, doch stimmig im Sinne einer Einheit der Physik ist das nicht. Eine feine Nuance macht den Unterschied:

Das *Passende* mag logisch korrekt sein und unser Harmoniebedürfnis mit „mathematischer Eleganz“ befriedigen, das *Stimmende* geht darüber hinaus und ist identisch mit der weitaus komplexeren Wahrheit – dem Naturgesetz.