

# Gedanken zur Speziellen Relativitätstheorie

Winfried Schlotter, 2008

## 1. Grundsätzliches

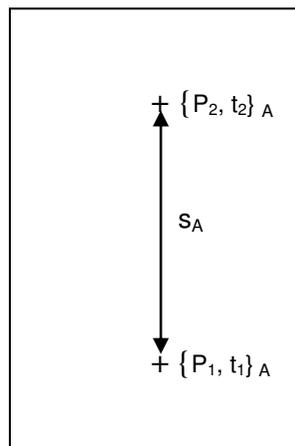
Das Postulat der Relativitätstheorie lautet:

„Die Naturgesetze sind für alle bewegten Beobachter unabhängig von der Geschwindigkeit ihres Inertialsystems gleich.“

Ein solches Postulat gilt nicht für die physikalischen Beobachtungsergebnisse selbst. So liefert die Beobachtung bei unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten zwischen Beobachter und beobachtetem Objekt unterschiedliche Beobachtungsergebnisse, während die Naturgesetze selbst unabhängig vom Bezugssystem des Beobachters sind.

Die Beobachtung von Spektralverschiebungen bei Relativbewegungen zwischen Erde (Ort des Beobachters) und entfernten Objekten im Weltraum bedeutet beispielweise nicht, dass die entfernt stattfindenden lichtemittierenden Prozesse entsprechend der beobachteten Spektralverschiebung unterschiedlich verlaufen.

Die Abhängigkeit der Beobachtungsergebnisse vom Bezugssystem soll nachstehend am Beispiel der Entfernungsmessung zweier Ereignispunkte im Raum deutlich gemacht werden.

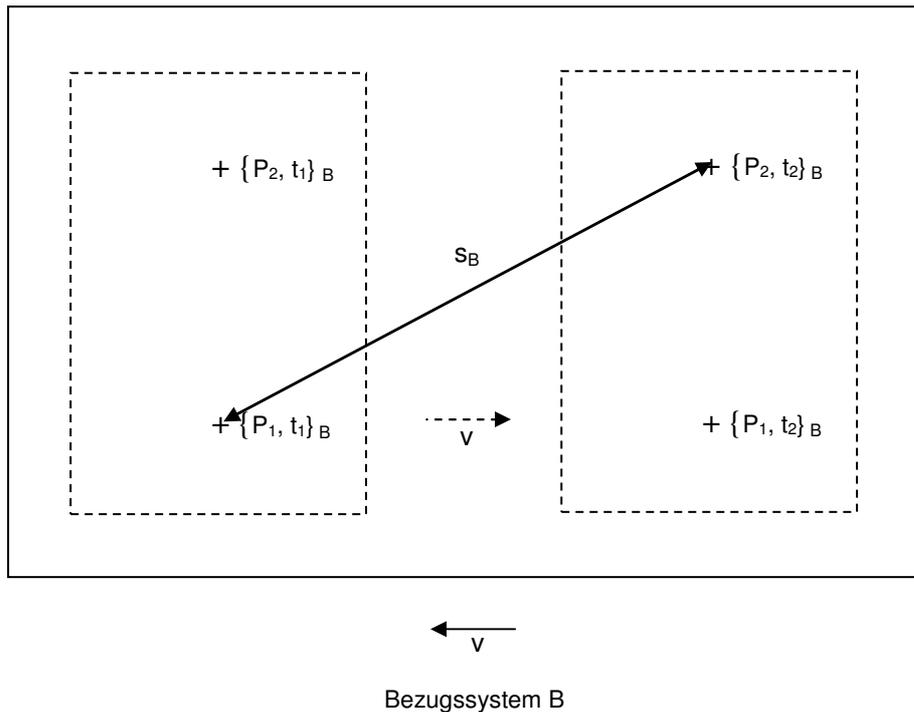


Bezugssystem A

Befinde ich mich als Beobachter im oben dargestellten Bezugssystem A, so sind die Ereignispunkte  $P_1$  zum Zeitpunkt  $t_1$  und  $P_2$  zum Zeitpunkt  $t_2$  relativ zum Beobachter und damit auch relativ zueinander in Ruhe. Der Abstand zwischen den beiden Ereignispunkten kann unmittelbar als Entfernung zwischen den beiden zueinander in Ruhe befindlichen Punkten  $P_1$  und  $P_2$  angegeben werden:

$$s_A = \overline{P_1 P_2}$$

Befinde ich mich beim gleichen Ereignis als Beobachter im Bezugssystem B, das sich mit der gleichförmigen Relativgeschwindigkeit  $v$  gegenüber dem Bezugssystem A bewegt, so ist die Entfernung zwischen den Ereignispunkten  $\{P_1, t_1\}$  und  $\{P_2, t_2\}$  abhängig von der Relativgeschwindigkeit  $v$  zwischen den beiden Bezugssystemen.



Für die Entfernung zwischen  $\{P_1, t_1\}_B$  und  $\{P_2, t_2\}_B$  gilt:

$$s_B = \sqrt{s_A^2 + [v(t_2 - t_1)_B]^2}$$

Das heißt

$$s_B \geq s_A$$

Auch am Beispiel der Gravitation lässt sich zeigen, dass in einem Bezugssystem, bei dem die Erde aus Sicht des Beobachters der ruhende Bezugspunkt für alle Himmelskörper ist, sich deren Bewegungsabläufe als recht kompliziert darstellen und sich die Allgemeingültigkeit der Gravitationsgesetze schwerlich nachweisen lässt. Wähle ich hingegen die Sonne als ruhenden Mittelpunkt meines Bezugssystems, so werden die Planetenbahnen angenähert zu Ellipsen und die auf der Erde beobachteten Massenwirkungsgesetze finden ihre Bestätigung auch in unserem Sonnensystem. Da unsere Sonne jedoch nicht den Gravitationsschwerpunkt des Universums bildet, ist auch ein solches Bezugssystem nicht geeignet, alle Bewegungsabläufe im Weltall richtig zu deuten.

Für das Verständnis der Naturgesetze ist es somit nicht gleichgültig, welches Bezugssystem man wählt. Die Erschließung der objektiven Wirklichkeit setzt voraus, dass es ein bevorzugtes Bezugssystem gibt, welches erlaubt, die von der Verschiedenheit der Bezugssysteme abhängigen unterschiedlichen Erscheinungsformen des gleichen Beobachtungsgegenstandes einheitlich zu interpretieren.

## 2. Betrachtungen zur Lichtgeschwindigkeit

### 2.1 Das Einsteinsche Postulat der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit

Ausgehend vom Michelson-Morley-Experiment, dessen Ergebnis das Vorhandensein eines Äthers zur Ausbreitung der Lichtwellen in Frage stellte, indem es gleiche Messergebnisse für die Lichtgeschwindigkeit sowohl gegen die Richtung des „Ätherwindes“ als auch im 90°-Winkel dazu lieferte, entwickelte Albert Einstein seine Spezielle Relativitätstheorie, indem er davon ausging, dass sich

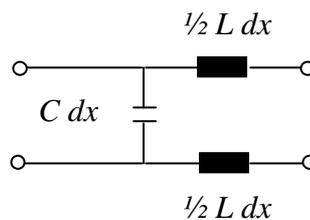
das Licht im Vakuum für jeden Beobachter immer mit konstanter Geschwindigkeit unabhängig vom Bewegungszustand der Lichtquelle oder des Beobachters ausbreitet.

Hier ist anzumerken, dass das Michelson-Morley-Experiment als Ergebnis nur die Konstanz der Vakuumlichtgeschwindigkeit relativ zur Lichtquelle als Bezugspunkt liefert. Der Schluss, dass damit die Vakuumlichtgeschwindigkeit auch zu jedem anderen Bezugspunkt konstant ist, unabhängig von der Relativbewegung der Lichtquelle zu diesem Bezugssystem, ist aus dem Michelson-Morley-Experiment nicht abzuleiten.

Wir wissen jedoch aufgrund der Maxwellschen Theorie und der daraus ableitbaren elektromagnetischen Wellenausbreitung, dass die elektromagnetischen Eigenschaften des ‚leeren‘ Raumes durch die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_0$  und die Permeabilitätskonstante  $\mu_0$  gegeben sind. Diese Werte sind experimentell ausreichend gesichert und gelten zumindest für die uns experimentell zugänglichen materiefreien Räume.

In erster Näherung kann man die Ausbreitung des Lichtes im Vakuum mit der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle entlang einer ungedämpften idealen Fernleitung vergleichen.

Die Ersatzschaltung eines Leiterelementes der Länge  $dx$  ist dabei allein durch die Kenngrößen  $C$  und  $L$  (Kapazität und Induktivität pro Leiterelement) gegeben, da die dämpfungsbestimmenden Kenngrößen  $R$  und  $G$  (ohmscher Widerstand und Leitfähigkeit pro Leiterelement) beim idealen Leiter voraussetzungsgemäß entfallen.



Ersatzschaltung des Leiterelementes einer idealen Fernleitung

Die gesamte Leitung kann gemäß obiger Abbildung als eine Folge entsprechender Leitungselemente angesehen werden.

Da eine elektromagnetische Welle sich entlang einem idealen Leiter mit der Lichtgeschwindigkeit  $c_0$  ausbreitet und sich für die ideale Fernleitung aus den Maxwellschen Gleichungen die Beziehung

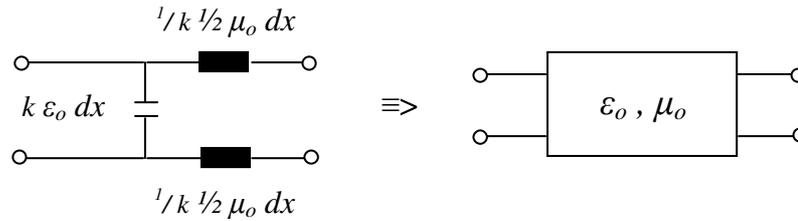
$$c_0 = 1 / \sqrt{CL}$$

ableiten lässt, andererseits aber die elektromagnetische Wellenausbreitung im Vakuum die Beziehung

$$c_0 = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$$

erfüllt, wobei  $C$  proportional  $\epsilon_0$  und  $L$  proportional  $\mu_0$  ist, kann man in der obigen Abbildung die Kapazität durch die Dielektrizität und die Induktivität durch die Permeabilität des ‚leeren‘ Raumes ersetzen und erhält somit nachstehende Ersatzschaltung für die elektromagnetische Wellenausbreitung im ‚leeren‘ Raum. Der Proportionalitätsfaktor  $k$  ist dabei durch die Leitungsabmessungen bestimmt, die so gewählt werden können, dass  $k = 1$  wird.\*

\* Hierzu wird auf die entsprechende Fachliteratur, u.a. K. Simonyi, Theoretische Elektrotechnik, TU Budapest, 1956, verwiesen.



Ersatzschaltung eines Streckenelementes des ‚leeren‘ Raumes als Leiterelement einer idealen Fernleitung

Für unsere weiteren Betrachtungen ist es von Bedeutung, ob und wie sich die Relativbewegung zwischen Sender bzw. Empfänger einer elektromagnetischen Welle und dem ‚leeren‘ Raum auf die Art und Wahrnehmung der elektromagnetischen Wellenausbreitung auswirken.

Aufgrund des Michelson-Morley-Experimentes wissen wir, dass der ‚leere‘ Raum kein Trägermedium im Sinne des ursprünglich vermuteten Äthers darstellt. Andererseits liefert der Michelson-Morley-Versuch das Ergebnis, dass der betrachtete ‚leere‘ Raum isotrop ist, d.h. die elektromagnetische Wellenausbreitung ist aus Sicht des Senders unabhängig von deren Ausbreitungsrichtung und dem Bewegungszustand des Senders.

Für unser Modell einer Ersatzschaltung des ‚leeren‘ Raumes bedeutet dies, dass aus Sicht des Senders (Bezugssystem A) mit der Sendefrequenz  $f_0$  die Wellenlänge  $\lambda_0$  allein durch die Kenngrößen des ‚leeren‘ Raumes bestimmt ist und die Bewegung des Senders relativ zu der als stationär gedachten Ersatzschaltung des ‚leeren‘ Raumes keinen Einfluss auf die Frequenz  $f_0$  und Wellenlänge  $\lambda_0$  des Senders hat.

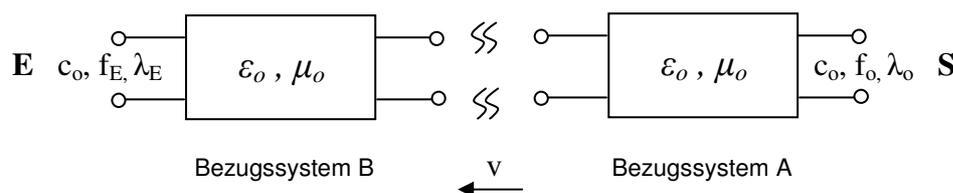
Betrachten wir die Abstrahlung und Ausbreitung der elektromagnetischen Welle aus Sicht des Empfängers (Bezugssystem B), so wissen wir aufgrund des beobachtbaren Dopplereffektes, dass sich die Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger sehr wohl auf die Wahrnehmung der Frequenz der sich in Richtung des Empfängers ausbreitenden elektromagnetischen Welle auswirkt.

Gehen wir für den ‚leeren‘ Raum wieder von unserem Modell der idealen Fernleitung aus und schließen diese empfangsseitig mit einem Messempfänger ab, so gilt für den Fall der Relativbewegung zwischen Sender und Empfänger aufgrund des Dopplereffektes

$$f_E = F\{ f_0, v, c_0 \}.$$

Für die Ausbreitung der elektromagnetischen Welle innerhalb der Fernleitung muss aus Sicht des Empfängers andererseits wegen  $c = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = c_0$  gelten, dass auch  $f_E * \lambda_E = c_0$  ist; d.h. die empfangene Wellenlänge erfährt aufgrund der Relativbewegung zwischen Sender und Empfänger aus Sicht des Empfängers eine Veränderung und es gilt

$$\lambda_E = F\{ f_0, v, c_0 \}.$$



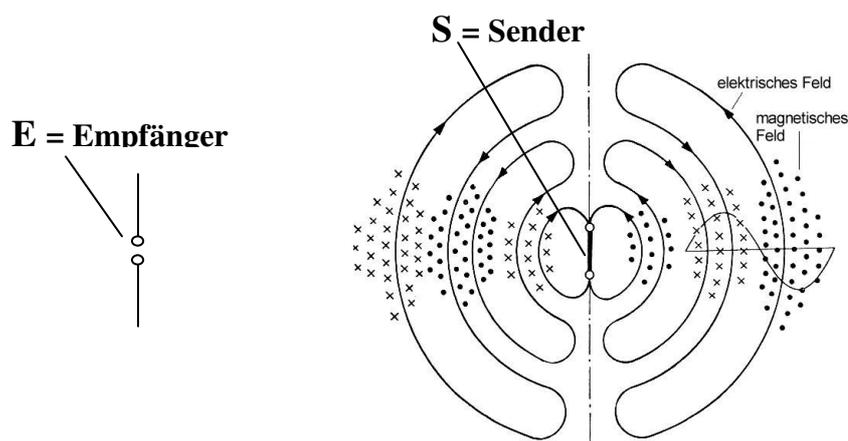
Das Einsteinsche Postulat nach Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für jeden Beobachter unabhängig von der Relativgeschwindigkeit zwischen Beobachter und Lichtquelle scheint somit erfüllt zu sein, da bei Gleichberechtigung der Bezugssysteme gemäß Relativitätstheorie der Beobachter als ruhend angenommen werden kann und die Empfangslichtgeschwindigkeit (Phasenlichtgeschwindigkeit  $c_E = f_E \cdot \lambda_E = c_0$  aus Sicht des Beobachters) gleich der tatsächlichen Lichtgeschwindigkeit  $c = s / t = n \cdot \lambda_E / n \cdot T_E = \lambda_E \cdot f_E = c_0$  ist.

An dieser Stelle könnte man daher geneigt sein, die Betrachtungen zur Frage der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit abzuschließen.

Wie bereits eingangs angedeutet, besteht jedoch der Einwand, dass alle Beobachtungsergebnisse hinterfragt werden müssen, da zum einen keine Beobachtung völlig unabhängig vom Bezugssystem des Beobachters ist (s. Dopplereffekt) und zum anderen hinter allem stets eine von der Beliebigkeit des Bezugssystems des Beobachters unabhängige, einheitliche Wirklichkeit vermutet werden muss.

## 2.2 Definition der Lichtgeschwindigkeit

Beim Licht haben wir es mit einem elektromagnetischen Feld zu tun, das sich zwar wellenförmig, aber nicht wie eine kinetische Energiewelle mittels eines Mediums, sondern in Form von Lichtquanten, d.h. elektromagnetischen Quantenfeldern, substantiell durch den Raum fortbewegt.



Elektromagnetische Wellen einer Dipolantenne

Die Lichtgeschwindigkeit ist somit als Wegstrecke, die ein Lichtquant, genauer gesagt ein Feldpunkt des elektromagnetischen Quantenfeldes, in einer zu bestimmenden Zeit im Raum zurücklegt, definiert. Im betrachteten Fall (siehe obige Abbildung) entspricht dies der räumlichen Entfernung zwischen Sende- und Empfangspunkt eines Feldpunktes der abgestrahlten elektromagnetischen ‚Welle‘ dividiert durch die zum Durchlaufen dieser Strecke von ihm benötigte Zeit.

Bei dieser Betrachtung gibt es zunächst keine Notwendigkeit, Raum und Zeit als relativistische Größen anzusehen. Vielmehr muss man davon ausgehen, dass *Raum und Zeit als von der Lichtbeobachtung unabhängige physikalische Phänomene existieren*. Dies ist denn auch das stärkste Argument gegen eine relativistische und für eine objektive Betrachtungsweise von Raum und Zeit, da Raum und Zeit unabhängig von einem ruhenden oder bewegten Beobachter existieren und, objektiv betrachtet, auch nicht durch das Vorhandensein eines solchen Beobachters verändert werden.

Indem wir ein von der Lichtbeobachtung unabhängiges, stationäres, 3-dimensionales räumliches Bezugssystem definieren, dessen Koordinatennullpunkt wir so wählen, dass er mit dem - wenn auch unbekanntem - Gravitationsschwerpunkt des Gesamtsystems zusammenfällt, können alle Bewe-

ungen im Raum als Bewegungen innerhalb dieses einen bevorzugten Bezugssystem angegeben werden, und wir gelangen zu einer bezüglich Raum und Zeit einheitlichen, nichtrelativistischen Betrachtung aller Bewegungsabläufe.

Um nicht in Konflikt mit den in der Relativitätstheorie verwendeten relativistischen Begriffen von ruhender oder bewegter Lichtquelle bzw. ruhendem oder bewegtem Beobachter zu kommen, verwenden wir im Weiteren hierfür die Begriffe Sender und Empfänger, wobei alle Bewegungen und Emissionen relativ zum festen Bezugssystem angegeben werden. Der Betrachter selbst ist in unserem Fall kein Beobachter (Empfänger von elektromagnetischen ‚Wellen‘ bzw. Quantenfeldern) im Sinne der Relativitätstheorie. Alle räumlichen und zeitlichen Angaben über die Bewegungsabläufe sind aus seiner Sicht im Gegensatz zur Sichtweise des Empfängers (Beobachters) allein durch das einheitliche, in der Folge als objektiv bezeichnete Bezugssystem bestimmt.

### 2.3 Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit

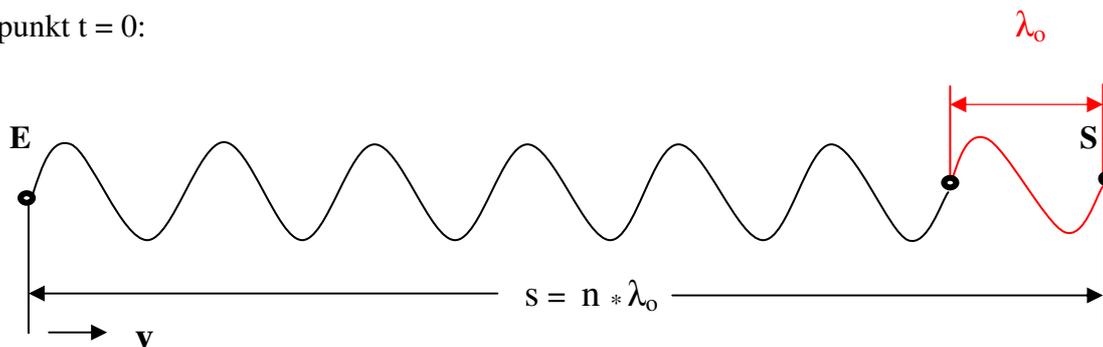
Bei der Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit betrachten wir nachfolgend, wie unter 2.2 definiert, die Geschwindigkeit eines Feldpunktes der elektromagnetischen ‚Welle‘ zunächst unter Abschnitt A beim relativ zum Bezugssystem ruhenden Sender und unter Abschnitt B beim relativ zum genannten Bezugssystem bewegten Sender, um dann unter Abschnitt C den allgemeinen Fall gleichförmiger Bewegungen von Sender und Empfänger zu behandeln.

Hierbei gehen wir entsprechend dem Ergebnis des Michelson-Morley-Experimentes davon aus, dass sich die elektromagnetische ‚Welle‘ nicht mittels eines Mediums, sondern als wellenförmiges elektromagnetisches Quantenfeld substantiell mit der Geschwindigkeit  $c_0$  relativ zum Sender fortbewegt. Bezüglich der Empfangsfrequenz tritt für den Fall einer Relativbewegung zwischen Sender und Empfänger auch aus Sicht des objektiven Betrachters beim Empfänger ein Dopplereffekt auf. Für die Wellenlänge gilt, dass diese bei nichtrelativistischer Betrachtungsweise überall im Raum allein durch die Wellenlänge  $\lambda_0$  des Senders bestimmt sein muss. Da dies aus Sicht des Empfängers bekanntlich nicht so ist, werden neben der Empfangsfrequenz  $f_E$  (Dopplerfrequenz) auch die Empfangswellenlänge  $\lambda_E$  und Empfangsgeschwindigkeit  $c_E$  der Lichtwelle unter Beibehaltung der nichtrelativistischen objektiven Bezugsgrößen ermittelt.

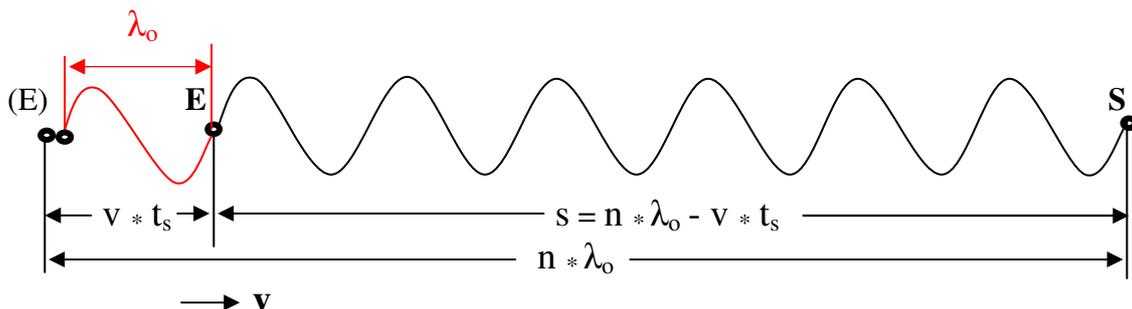
Ersetzt man die Wellendarstellung des Lichtes durch die Darstellung eines Teilchenstromes, so wird aus  $\lambda$  der Teilchenabstand  $d$ ,  $f$  bedeutet die Anzahl der Teilchen pro Zeiteinheit und  $T$  ist die Dauer, die ein Teilchen zum Durchlaufen der Strecke  $d$  benötigt. Die Empfangslichtgeschwindigkeit ergibt sich in diesem Fall analog zum Wellenmodell aus der Phasengeschwindigkeit des Teilchenstromes zu  $c_E = d_E / T_E = d_E * f_E = d_E * n / n * T_E = s_E / t_E$ .

#### A. Empfänger bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit $v$ auf den im betrachteten System ruhenden Sender zu:

Zeitpunkt  $t = 0$ :



Zeitpunkt  $t = t_s = \text{Zeit}$ , in der der betrachtete Feldpunkt die Strecke  $s$  bis zum Empfänger durchlaufen hat:



S = Sender  
E = Empfänger

$\lambda_0$  = Wellenlänge einer 'Schwingung'  
 $f_0$  = Frequenz des vom Sender abgestrahlten Lichtes  
 $T_E$  = Dauer einer 'Schwingung' beim Empfänger  
 $f_E$  = Frequenz des Lichtes beim Empfänger

Lichtgeschwindigkeit:  $c = s / t_s = (n * \lambda_0 - v * t_s) / t_s = n * \lambda_0 / t_s - v = n * \lambda_0 / n * T_E - v$   
(objektive Sichtweise)  $= \lambda_0 / T_E - v = \lambda_0 * f_E - v$

Die Frequenz des eintreffenden Lichtes beim Empfänger ändert sich proportional zur Erhöhung der Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger (Dopplereffekt), und zwar gilt:

$$f_E / f_0 = (f_0 + \Delta f) / f_0 = (c_0 + v) / c_0 = 1 + v / c_0 \text{ und damit}$$

$$f_E = f_0 (1 + v / c_0)$$

$$\text{d.h. } c = \lambda_0 * f_0 (1 + v / c_0) - v = c_0 (1 + v / c_0) - v = c_0$$

Die Vakuumlichtgeschwindigkeit des vom ruhenden Sender abgestrahlten Licht ist unabhängig von dem sich mit der Geschwindigkeit  $v$  auf den Sender zu bewegendem Empfänger und damit gleich der Vakuumlichtgeschwindigkeit  $c_0$ .

Empfangsfrequenz: Wenn sich der Empfänger mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  in Richtung des ruhenden Senders bewegt, beträgt die Empfangsfrequenz  $f_E = f_0 (1 + v / c_0)$

Empfangswellenlänge: Die Empfangswellenlänge  $\lambda_E$  aus Sicht des Empfängers ergibt sich aus der Beziehung  $n * \lambda_E = s_E = n * \lambda_0 - v * t_s = n * \lambda_0 - v * n * T_E$ ; d.h.  
 $\lambda_E = \lambda_0 - v * T_E = \lambda_0 - v * 1 / f_E = (\lambda_0 * f_E - v) / f_E = [\lambda_0 * f_0 * (1 + v / c_0) - v] / f_E = [c_0 + v - v] / f_E = c_0 / f_E$

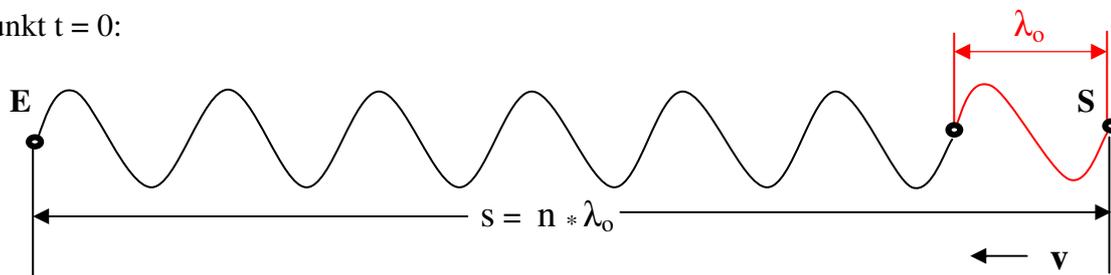
Wenn sich der Empfänger mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  in Richtung des ruhenden Senders bewegt, beträgt die Empfangswellenlänge  $\lambda_E = c_0 / f_E$ .

Empfangslichtgeschwindigkeit: Wenn sich der Empfänger mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  in Richtung des ruhenden Senders bewegt, beträgt die Empfangslichtgeschwindigkeit  $c_E = f_E * \lambda_E = c_0$ .

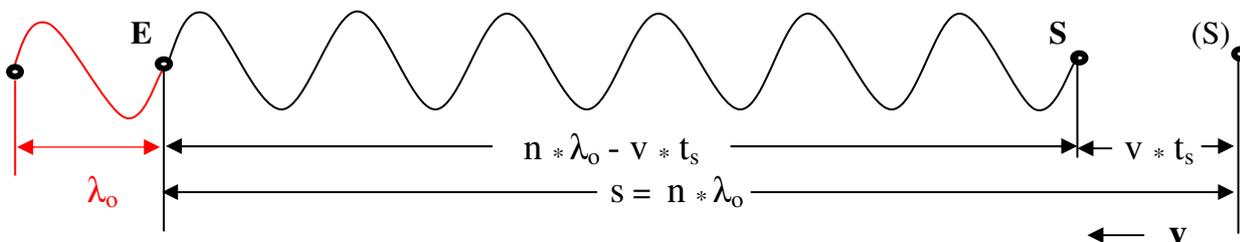
Besonders an diesem Beispiel lässt sich sehr schön zeigen, dass die Empfangslichtgeschwindigkeit  $c_E$  nicht die tatsächliche Auftreffgeschwindigkeit eines Photons bzw. eines Feldpunktes des elektromagnetischen Quantenfeldes beim Empfänger, sondern nur die aus Sicht des Empfängers beobachtbare Phasenlichtgeschwindigkeit darstellt. Würde nämlich das Licht mit der Wellenlänge  $\lambda_0$  bzw. dem Teilchenabstand  $d = \lambda_0$ , welcher Parameter sich bis zum Auftreffzeitpunkt beim Empfänger objektiv nicht verändert, mit der Relativgeschwindigkeit  $c_0$  beim Empfänger auftreffen, so dürfte es in unserem Fall gar nicht zu einem Dopplereffekt kommen. Das Auftreten des Dopplereffektes setzt nämlich bei nichtrelativistischer Betrachtungsweise von Raum und Zeit voraus, dass aus objektiver Sicht (Sicht des ruhenden Senders) die zu betrachtenden Feldpunkte der abgestrahlten elektromagnetischen ‚Welle‘ bzw. der einzelnen Lichtquanten eines Teilchenstromes mit der Relativgeschwindigkeit  $c_0 + v$  beim Empfänger auftreffen.

**B. Sender bewegt sich im betrachteten System mit konstanter Geschwindigkeit v auf ruhenden Empfänger zu:**

Zeitpunkt  $t = 0$ :



Zeitpunkt  $t = t_s =$  Zeit, in der der betrachtete Feldpunkt die Strecke  $s$  bis zum Empfänger durchlaufen hat:



**S** = Sender  
**E** = Empfänger

$\lambda_0$  = Wellenlänge einer ‚Schwingung‘  
 $f_0$  = Frequenz des vom Sender abgestrahlten Lichtes  
 $T_E$  = Dauer einer ‚Schwingung‘ beim Empfänger  
 $f_E$  = Frequenz des Lichtes beim Empfänger

Lichtgeschwindigkeit  
(objektive Sichtweise)

$$c = s / t_s = n * \lambda_0 / n * T_E = \lambda_0 / T_E = \lambda_0 * f_E$$

Wegen des Dopplereffektes gilt  $f_E = f_0 (1 + v / c_0)$  ;

$$\text{d.h. } c = \lambda_0 * f_0 (1 + v / c_0) = c_0 (1 + v / c_0) = c_0 + v$$

Die Vakuumlichtgeschwindigkeit des mit der Geschwindigkeit  $v$  relativ zum ruhenden Empfänger und damit relativ zum ruhenden Bezugs-

system bewegten Senders ist aus objektiver Sicht um die Geschwindigkeit  $v$  größer als die Vakuumlichtgeschwindigkeit  $c_0$  des ruhenden Senders und damit konstant  $c_0$  relativ zum bewegten Sender.

Empfangsfrequenz: Wenn sich der Sender mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  in Richtung des Empfängers bewegt, beträgt die Empfangsfrequenz des ruhenden Empfängers  $f_E = f_0 (1 + v / c_0)$

Empfangswellenlänge: Die Empfangswellenlänge  $\lambda_E$  aus Sicht des Empfängers ergibt sich wie im Fall B aus der Beziehung  $n * \lambda_E = s_E = n * \lambda_0 - v * t_s = n * \lambda_0 - v * n * T_E$ ; d.h.  $\lambda_E = \lambda_0 - v * T_E = \lambda_0 - v * 1 / f_E = (\lambda_0 * f_E - v) / f_E = [\lambda_0 * f_0 * (1 + v / c_0) - v] / f_E = [c_0 + v - v] / f_E = c_0 / f_E$

Wenn sich der Sender mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  in Richtung des Empfängers bewegt, beträgt die Empfangswellenlänge des ruhenden Empfängers  $\lambda_E = c_0 / f_E$ .

Empfangslichtgeschwindigkeit: Wenn sich der Sender mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  in Richtung des Empfängers bewegt, beträgt die Empfangslichtgeschwindigkeit des ruhenden Empfängers  $c_E = f_E * \lambda_E = c_0$ .

### C. Allgemeiner Fall der gleichförmigen Bewegung von Sender und Empfänger:

Ausgehend von den bisherigen Betrachtungen verallgemeinern wir nachstehend unsere Ergebnisse für den Fall der gleichförmigen Bewegung von Sender und Empfänger.

Lichtgeschwindigkeit (objektive Sichtweise)  $\pm v_s =$  Geschwindigkeit des Senders und  $\pm v_E =$  Geschwindigkeit des Empfängers

Je nach Bewegungsrichtung von Sender und Empfänger gelten hierfür folgende Beziehungen:

a) Bewegung des Senders und Empfängers in Richtung der Lichtausbreitung

$$c = s / t_s = (n * \lambda_0 + v_E * t_s) / t_s = n * \lambda_0 / t_s + v_E = n * \lambda_0 / n * T_E + v_E = \lambda_0 / T_E + v_E = \lambda_0 * f_E + v_E = \lambda_0 * f_0 [1 + (v_s - v_E) / c_0] + v_E = c_0 + v_s$$

b) Bewegung des Senders und Empfängers entgegen der Richtung der Lichtausbreitung

$$c = s / t_s = (n * \lambda_0 - v_E * t_s) / t_s = n * \lambda_0 / t_s - v_E = n * \lambda_0 / n * T_E - v_E = \lambda_0 / T_E - v_E = \lambda_0 * f_E - v_E = \lambda_0 * f_0 [1 - (v_s - v_E) / c_0] - v_E = c_0 - v_s$$

c) Bewegung des Senders in Richtung und des Empfängers entgegen der Richtung der Lichtausbreitung

$$c = s / t_s = (n * \lambda_0 - v_E * t_s) / t_s = n * \lambda_0 / t_s - v_E = n * \lambda_0 / n * T_E - v_E = \lambda_0 / T_E - v_E = \lambda_0 * f_E - v_E = \lambda_0 * f_0 [1 + (v_s + v_E) / c_0] - v_E = c_0 + v_s$$

d) Bewegung des Senders entgegen der Richtung und des Empfängers in Richtung der Lichtausbreitung

$$c = s / t_s = (n * \lambda_o + v_E * t_s) / t_s = n * \lambda_o / t_s + v_E = n * \lambda_o / n * T_E + v_E = \lambda_o / T_E + v_E = \lambda_o * f_E + v_E = \lambda_o * f_o [1 - (v_s + v_E) / c_o] + v_E = c_o - v_s$$

Die Vakuumlichtgeschwindigkeit des mit der Geschwindigkeit  $v_s$  in oder gegen die Richtung der Lichtausbreitung bewegten Senders ist aus objektiver Sicht um die Geschwindigkeit  $v_s$  größer bzw. kleiner als die Vakuumlichtgeschwindigkeit  $c_o$  des ruhenden Senders. Sie ist unabhängig von der Geschwindigkeit des Empfängers.

Empfangsfrequenz:

Je nach Bewegungsrichtung von Sender und Empfänger gelten hierfür folgende Beziehungen:

a) Bewegung des Senders und Empfängers in Richtung der Lichtausbreitung

$$f_E = f_o [1 + (v_s - v_E) / c_o]$$

b) Bewegung des Senders und Empfängers entgegen der Richtung der Lichtausbreitung

$$f_E = f_o [1 - (v_s - v_E) / c_o]$$

c) Bewegung des Senders in Richtung und des Empfängers entgegen der Richtung der Lichtausbreitung

$$f_E = f_o [1 + (v_s + v_E) / c_o]$$

d) Bewegung des Senders entgegen der Richtung und des Empfängers in Richtung der Lichtausbreitung

$$f_E = f_o [1 - (v_s + v_E) / c_o]$$

Die Empfangsfrequenz  $f_E$  des Empfängers ist abhängig von der Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger und deren Bewegungsrichtungen in Bezug auf die Lichtausbreitung (zeitlicher Dopplereffekt).

Empfangswellenlänge:

Je nach Bewegungsrichtung von Sender und Empfänger gelten hierfür folgende Beziehungen:

a) Bewegung des Senders und Empfängers in Richtung der Lichtausbreitung

$$\begin{aligned} n * \lambda_E &= s_E = n * \lambda_o - v_s * t_s + v_E * t_s = n * \lambda_o - v_s * n * T_E + v_E * n * T_E \\ \lambda_E &= \lambda_o - v_s * T_E + v_E * T_E = \lambda_o - (v_s - v_E) / f_E = [\lambda_o * f_o - v_s + v_E] / f_E = \\ &= [\lambda_o * f_o [1 + (v_s - v_E) / c_o] - v_s + v_E] / f_E = [c_o + v_s - v_E - v_s + v_E] / f_E \\ \lambda_E &= c_o / f_E \end{aligned}$$

b) Bewegung des Senders und Empfängers entgegen der Richtung der Lichtausbreitung

$$\begin{aligned} n * \lambda_E = s_E &= n * \lambda_o + v_s * t_s - v_E * t_s = n * \lambda_o + v_s * n * T_E - v_E * n * T_E \\ \lambda_E &= \lambda_o + v_s * T_E - v_E * T_E = \lambda_o + (v_s - v_E) / f_E = [\lambda_o * f_E + v_s - v_E] / f_E = \\ &= [\lambda_o * f_o [1 - (v_s - v_E) / c_o] + v_s - v_E] / f_E = [c_o - v_s + v_E + v_s - v_E] / f_E \\ \lambda_E &= c_o / f_E \end{aligned}$$

c) Bewegung des Senders in Richtung und des Empfängers entgegen der Richtung der Lichtausbreitung

$$\begin{aligned} n * \lambda_E = s_E &= n * \lambda_o - v_s * t_s - v_E * t_s = n * \lambda_o - v_s * n * T_E - v_E * n * T_E \\ \lambda_E &= \lambda_o - v_s * T_E - v_E * T_E = \lambda_o - (v_s + v_E) / f_E = [\lambda_o * f_E - v_s - v_E] / f_E = \\ &= [\lambda_o * f_o [1 + (v_s + v_E) / c_o] - v_s - v_E] / f_E = [c_o + v_s + v_E - v_s - v_E] / f_E \\ \lambda_E &= c_o / f_E \end{aligned}$$

d) Bewegung des Senders entgegen der Richtung und des Empfängers in Richtung der Lichtausbreitung

$$\begin{aligned} n * \lambda_E = s_E &= n * \lambda_o + v_s * t_s + v_E * t_s = n * \lambda_o + v_s * n * T_E + v_E * n * T_E \\ \lambda_E &= \lambda_o + v_s * T_E + v_E * T_E = \lambda_o + (v_s + v_E) / f_E = [\lambda_o * f_E + v_s + v_E] / f_E = \\ &= [\lambda_o * f_o [1 - (v_s + v_E) / c_o] + v_s + v_E] / f_E = [c_o - v_s - v_E + v_s + v_E] / f_E \\ \lambda_E &= c_o / f_E \end{aligned}$$

Die Empfangswellenlänge  $\lambda_E$  aus Sicht des Empfängers ist abhängig von der Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger und deren Bewegungsrichtungen in Bezug auf die Lichtausbreitung (räumlicher Dopplereffekt).

Empfangslichtgeschwindigkeit:

Die Empfangslichtgeschwindigkeit  $c_E = \lambda_E * f_E$  ist in allen Fällen gleich der Vakuumlichtgeschwindigkeit  $c_o$ .

## 2.4 Zusammenfassung der bisherigen Betrachtungen zur Lichtgeschwindigkeit

Die Vakuumlichtgeschwindigkeit relativ zum Sender ist unabhängig vom Bewegungszustand des Senders immer konstant  $c_o$  (Michelson-Morley-Experiment).

Aus der Maxwellschen Theorie lässt sich ableiten, dass die Empfangslichtgeschwindigkeit im 'leeren' Raum (Phasenlichtgeschwindigkeit  $c_E = \lambda_E * f_E$  aus Sicht des Empfängers) unabhängig von der Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger ebenfalls immer gleich der Vakuumlichtgeschwindigkeit  $c_o$  ist. Während sich Sende- und Empfangsfrequenz bzw. Sende- und Empfangswellenlänge in Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger unterscheiden (zeitlicher u. räumlicher Dopplereffekt), gilt dies jedoch unter der Voraussetzung, dass Raum und Zeit objektiver, nichtrelativistischer Natur sind, aus Sicht eines objektiven Betrachters nicht in gleicher Weise für die Absolutgeschwindigkeit des Lichtes (Geschwindigkeit eines einzelnen Feldpunktes der elektromagnetischen ‚Welle‘ bzw. eines einzelnen Lichtquants relativ zu einem ruhenden Bezugssystem). Das Einsteinsche Postulat nach Konstanz der Vakuumlichtgeschwindigkeit für jeden Beobachter hat demnach nur Gültigkeit für die beobachtbare Empfangslichtgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit des empfangenen Lichtes).

Damit ist weiterhin nicht ausgeschlossen, dass es ein bevorzugtes Bezugssystem gibt, welches es erlaubt, alle Erscheinungsformen der Lichtausbreitungsprozesse unabhängig von der jeweiligen relativistischen Sichtweise des Beobachters (Empfängers) einheitlich zu interpretieren.

Bei Einführung eines als objektiv angenommenen, auf den klassischen Anschauungen von Raum und Zeit basierenden einheitlichen stationären Bezugssystems kommen wir bei der Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit zu folgenden Ergebnissen:

1. Die Vakuumlichtgeschwindigkeit des von einem ruhenden Sender abgestrahlten Lichtes ist unabhängig vom Empfänger und dessen Bewegungszustand innerhalb des als objektiv angenommenen einheitlichen stationären Bezugssystem immer konstant  $c_0$ .

2. Betrachtet man hingegen die Vakuumlichtgeschwindigkeit des von einem bewegten Sender abgestrahlten Lichtes, so verändert sich die Lichtgeschwindigkeit um die Geschwindigkeit des Senders innerhalb des einheitlichen stationären Bezugssystems.

3. Für die Empfangslichtgeschwindigkeit (Phasenlichtgeschwindigkeit aus Sicht des Empfängers) gilt auch bei Einführung des als objektiv angenommenen einheitlichen stationären Bezugssystems, dass diese im ‚leeren‘ Raum unabhängig von den Bewegungen des Senders und Empfängers für alle betrachteten Fälle immer konstant  $c_0$  ist.

Zur Bestimmung der Auftreffgeschwindigkeit des Lichtes beim Empfänger (Relativgeschwindigkeit zwischen dem Empfänger und den Feldpunkten der abgestrahlten elektromagnetischen ‚Welle‘ bzw. der einzelnen Quantenfelder eines Teilchenstromes) gilt aus Sicht des objektiven Bezugssystems, dass die jeweilige Geschwindigkeit von Sender und Empfänger relativ zum objektiven Bezugssystem berücksichtigt werden muss. Ein Dopplereffekt beim Empfänger kommt in diesem Fall nur zustande, wenn die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Empfänger und den betrachteten Feldpunkten der abgestrahlten elektromagnetischen ‚Welle‘ bzw. der einzelnen Quantenfelder eines Teilchenstromes und dem Empfänger von  $c_0$  abweichen.

Es gibt somit keine absolute Konstanz der Vakuumlichtgeschwindigkeit innerhalb des als objektiv angenommenen einheitlichen stationären Bezugssystems. Die Konstanz der Empfangslichtgeschwindigkeit im ‚leeren‘ Raum kann auch unter Beibehaltung der zeitlichen und räumlichen Bezugsgrößen unseres objektiven Bezugssystems nachgewiesen werden und darf nicht mit der absoluten Vakuumlichtgeschwindigkeit (Geschwindigkeit eines einzelnen Lichtquants bzw. Feldpunktes der elektromagnetischen ‚Welle‘) gleichgesetzt werden.

Bei einer Relativbewegung zwischen Sender und Empfänger tritt beim Empfänger nicht nur ein zeitlicher, sondern auch ein räumlicher Dopplereffekt auf. Diese relativistische Sichtweise des Empfängers (Beobachters) ist jedoch eingeschränkt, da der Empfänger allein aufgrund der bei ihm beobachtbaren physikalischen Größen Empfangslichtgeschwindigkeit  $c_E$ , Empfangsfrequenz  $f_E$  und Empfangswellenlänge  $\lambda_E$  weder zwischen den unter Kap. 2.3 aufgezeigten, objektiv verschiedenen Bewegungsabläufen von Sender und Empfänger unterscheiden noch einen Aussage über die abgestrahlte Sendefrequenz  $f_0$  bzw. Sendewellenlänge  $\lambda_0$  machen kann.

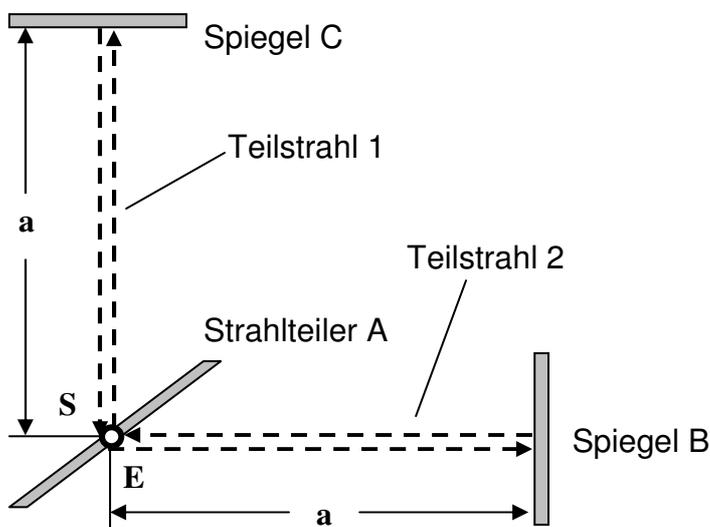
Das als objektiv angenommene einheitliche Bezugssystem erlaubt hingegen nicht nur eine differenzierte Betrachtungsweise der unter Kap. 2.3 aufgezeigten, objektiv verschiedenen Bewegungsabläufe, es liefert auch eine Deutung des aus Sicht des Beobachters (Empfängers) auftretenden räumlichen und zeitlichen Dopplereffektes und somit eine Erklärung für die immer konstante Empfangslichtgeschwindigkeit  $c_E = c_0$ . Es steht damit auch nicht im Widerspruch zu dem unter Kap. 2.1 aus der Maxwell'schen Theorie abgeleiteten diesbezüglichen Ergebnis.

## 2.5 Das Michelson-Morley-Experiment

(unter der Vorgabe, dass die Lichtausbreitungsgeschwindigkeit entsprechend den unter A - C angestellten Betrachtungen abhängig ist von der Geschwindigkeit des Senders in dem als ruhend betrachteten Bezugssystem)

Dass für eine Relativierung von Raum und Zeit auch beim Michelson-Morley-Experimentes, dessen Ergebnis seinerzeit zur Aufstellung der Speziellen Relativitätstheorie beigetragen hat, keine Notwendigkeit besteht, wenn man bei der Bestimmung der Lichtausbreitungsgeschwindigkeit die Relativbewegung des Senders zum als ruhend angenommenen räumlichen Bezugssystem berücksichtigt, soll nachstehend gezeigt werden.

a) Sender und Empfänger im betrachteten System in Ruhe:



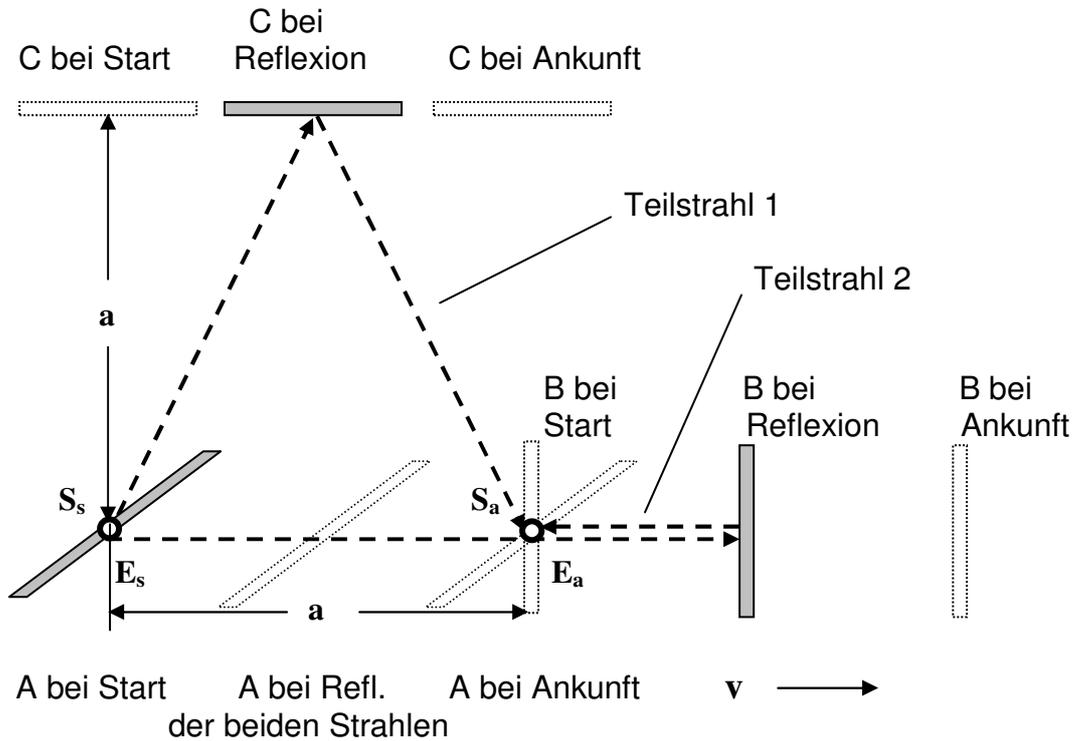
**S** = Sender  
**E** = Empfänger

**a** = Entfernung zwischen Sender und Spiegel

Lichtgeschwindigkeit  $c = s / t_s = 2a / t_s = c_0$

Die Vakuumlichtgeschwindigkeit für beide Strahlenwege zwischen Sender, Spiegel B bzw. Spiegel C und Empfänger beträgt  $c_0$ . Die Länge der Strahlenwege beträgt jeweils  $s = 2a$ . Die Beobachtungsdauer  $t_s$  ist in beiden Fällen gleich.

b) Sender und Empfänger bewegen sich in dem als ruhend betrachteten Bezugssystem mit der Geschwindigkeit  $v$  in Richtung des Teilstrahles 2 zum Spiegel B:



$S_s$  = Sender bei Start

$S_a$  = Sender bei Ankunft

$E_s$  = Empfänger bei Start

$E_a$  = Empfänger bei Ankunft

$v$  = Geschwindigkeit des Gesamtsystems im Raum

$a$  = Entfernung zwischen Sender und Spiegel

1. Lichtgeschwindigkeit des Lichtquants zwischen Sender, Spiegel C und Empfänger:

$$c_1 = s_1 / t_{s1} = 2 \sqrt{a^2 + (v * t_{s1} / 2)^2} / t_{s1} = \sqrt{4 a^2 / t_{s1}^2 + v^2}$$

2. Lichtgeschwindigkeit des Lichtquants zwischen Sender, Spiegel B und Empfänger:

Nach dem bisher Gesagten besitzt das Lichtquant in Richtung des Spiegels B bzw. vom Spiegel B zurück zum Empfänger unterschiedliche Geschwindigkeiten  $c_2'$  und  $c_2''$ .

$$c_2' = s_2' / t_{s2}' = (a + v * t_{s2}') / t_{s2}' = a / t_{s2}' + v = c_0 + v ; \text{ d.h. } t_{s2}' = a / c_0$$

$$c_2'' = s_2'' / t_{s2}'' = (a - v * t_{s2}'') / t_{s2}'' = a / t_{s2}'' - v = c_0 - v ; \text{ d.h. } t_{s2}'' = a / c_0$$

Daraus folgt  $t_{s2} = t_{s2}' + t_{s2}'' = 2a / c_0$ ; mit  $t_{s1} = t_{s2}$  gilt unter 1.:

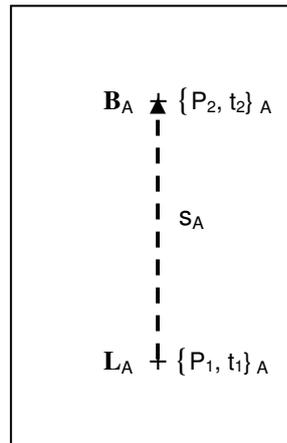
$$c_1 = s_1 / t_{s1} = \sqrt{c_0^2 + v^2} ; \text{ d.h. die Lichtgeschwindigkeit des Teilstrahles 1 setzt sich zusammen aus der Vakuumlichtgeschwindigkeit } c_0 \text{ in Richtung Spiegel C und der Relativgeschwindigkeit } v \text{ in Richtung Spiegel B.}$$

Somit ist das Michelson-Morley-Experiment auch unter der Vorgabe, dass die Lichtgeschwindigkeit entsprechend den unter Kap. 2.3 u. 2.4 angestellten Betrachtungen abhängig ist von der Geschwindigkeit des Senders (Lichtquelle) relativ zum objektiven Bezugssystem, ohne die Forderung nach Relativierung von Raum und Zeit eindeutig erklärbar.

### 3. Relativität und Objektivität von Raum und Zeit

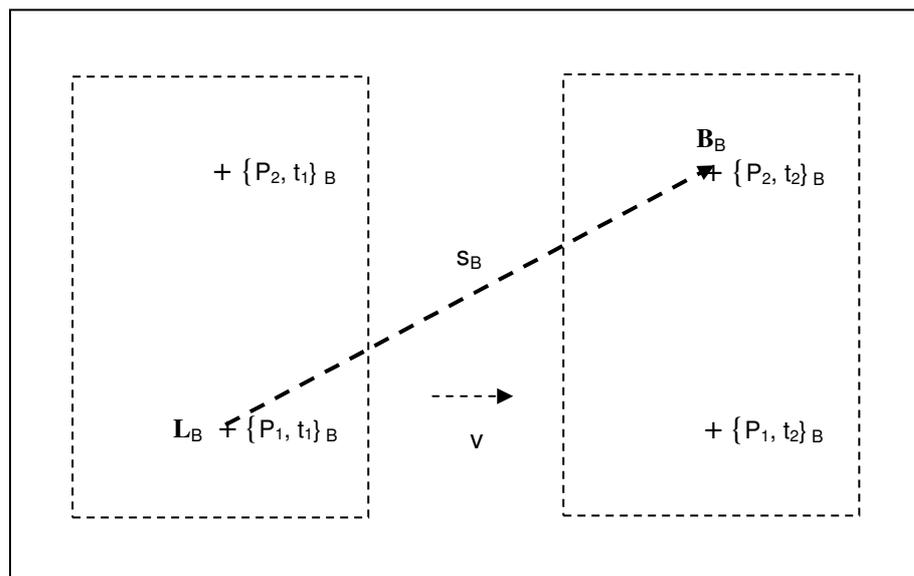
#### 3.1 Raum und Zeit gemäß Relativitätstheorie

Betrachten wir nochmals unser Beispiel der beiden Ereignispunkte  $\{P_1, t_1\}$  und  $\{P_2, t_2\}$  aus Kap.1 zunächst aus Sicht des Bezugssystems A und erweitern unser Gedankenexperiment wie folgt: Unter Vakuumbedingungen befinde sich im Punkt  $P_1$  eine Lichtquelle L, die zum Zeitpunkt  $t_1$  einen Lichtstrahl in Richtung  $P_2$  sendet, welcher dort zum Zeitpunkt  $t_2$  auf einen Beobachter B trifft.



Bezugssystem A

Danach betrachten wir das gleiche Ereignis aus Sicht des Bezugssystems B, welches sich mit der gleichförmigen Geschwindigkeit  $v$  gegenüber dem Bezugssystem A bewegt.



Bezugssystem B



Die Zeitdauer des Teilstrahls 2 zwischen dem Sender beim Start  $\{P_1, t_1\}_B$  und dem Empfänger bei Ankunft  $\{P_3, t_3\}_B$  setzt sich wegen der Reflexion am Spiegel B aus der Teilzeit  $t'_{B2}$  für den Hinweg und der Teilzeit  $t''_{B2}$  für den Rückweg zusammen. Aus Sicht des im Bezugssystem B als ruhend geltenden Beobachters ergibt sich hierfür gemäß Relativitätstheorie:

$$t'_{B2} \cdot c_0 = a_B + v \cdot (t_2 - t_1) = a_B + v \cdot t'_{B2} \quad (1)$$

$$t''_{B2} \cdot c_0 = a_B - v \cdot (t_3 - t_2) = a_B - v \cdot t''_{B2} \quad (2)$$

Aus den beiden Gleichungen erhält man durch Auflösung nach  $t'_{B2}$  bzw.  $t''_{B2}$  und Addition der beiden Teilzeiten für die Gesamtlaufzeit des Teilstrahls 2

$$t_{B2} = a_B \cdot 1 / (c_0 - v) + a_B \cdot 1 / (c_0 + v)$$

Nun ist aber die Gesamtlaufzeit des Teilstrahls 1 und des Teilstrahls 2 des Michelson-Morley-Experiments aus Sicht sowohl des Beobachters im Bezugssystem A als auch im Bezugssystem B gleich, da für beide Beobachter die beiden Teilstrahlen beim Empfänger gleichzeitig eintreffen. Es gilt also

$$t_{B1} = t_{B2} \text{ bzw. } t_{A1} = t_{A2}$$

Mit der zu Beginn des Kap. 3.5 ermittelten Beziehung für einen Strahl senkrecht zur Bewegungsrichtung der beiden Bezugssysteme analog dem Teilstrahl 1 im Michelson-Morley-Experiment

$$t_{B1} = t_{A1} \cdot 1 / \sqrt{1 - (v / c_0)^2} = t_{A1} \cdot \gamma$$

folgt, dass diese Beziehung auch für den Teilstrahl 2 gelten muss, d.h.

$$t_{B2} = t_{A2} \cdot 1 / \sqrt{1 - (v / c_0)^2} = t_{A2} \cdot \gamma$$

Da  $t_{A2} = t_{A1} = 2 a_A / c_0$ , gilt  $t_{B2} = t_{A2} \cdot \gamma = (2 a_A / c_0) \cdot \gamma = a_B \cdot 1 / (c_0 - v) + a_B \cdot 1 / (c_0 + v)$

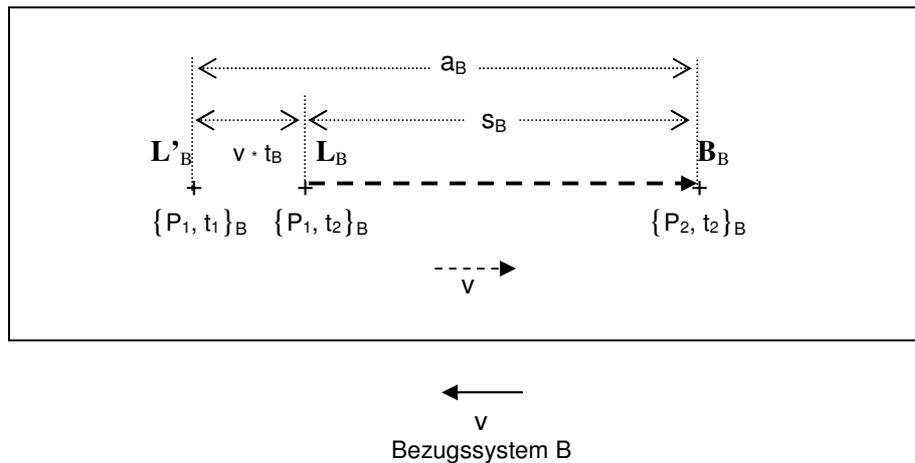
Indem wir letztere Gleichung nach  $a_B$  auflösen, erhalten wir die Beziehung

$$a_B = a_A \cdot \sqrt{1 - (v / c_0)^2} = a_A \cdot 1 / \gamma$$

Wie bei der Betrachtung der Zeit gilt auch hier, dass gemäß Relativitätstheorie alle Bezugssysteme gleichberechtigt sind und jeder Beobachter sich selbst als ruhend gegenüber dem beobachteten Ereignis betrachten kann. Die Raumaussdehnung in Bewegungsrichtung der relativ zueinander bewegten Bezugssysteme im als ruhend betrachteten Bezugssystem ist somit um den Relativitätsfaktor  $\gamma$  größer als im bewegten Bezugssystem, d.h. im relativ zum Beobachter bewegten Bezugssystem erfolgt in Bewegungsrichtung eine *Raumstauchung* um den Relativitätsfaktor  $\gamma$ .

Unter dieser Prämisse der Relativitätstheorie wollen wir nun nochmals den bei einer Relativgeschwindigkeit  $v$  zwischen Lichtquelle (Sender) und Beobachter (Empfänger) beim Beobachter auftretenden Dopplereffekt untersuchen. Im einfachsten Fall bewegt sich die Lichtquelle in Richtung der Lichtausbreitung auf den im Bezugssystem B als ruhend geltenden Beobachter mit der gleichförmigen Geschwindigkeit  $v$  zu. Danach betrachten wir den Fall, dass sich die Lichtquelle bei sonst gleichen Bedingungen vom Beobachter weg bewegt und schließlich den allgemeinen Fall, dass die Bewegungsrichtung zwischen Lichtquelle und Beobachter nicht mit der Richtung der Lichtausbreitung übereinstimmt.

a) Die Lichtquelle bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  auf den Beobachter zu



Für den Beobachter des Bezugssystems B gilt

$$s_B / t_B = c_0 = (a_B - v \cdot t_B) / t_B = (a_A \cdot 1 / \gamma - v \cdot t_B) / t_B$$

Mit  $a_A = t_A \cdot c_0$  folgt  $(t_A \cdot c_0 \cdot 1 / \gamma - v \cdot t_B) / t_B = c_0$

Aufgelöst nach  $t_B$  ergibt dies  $t_B = t_A \cdot [1 / (1 + v / c_0)] \cdot 1 / \gamma$

und mit  $t_B = n \cdot T_B$  bzw.  $t_A = n \cdot T_A$  sowie  $1 / T_A = f_A = f_0$  erhalten wir

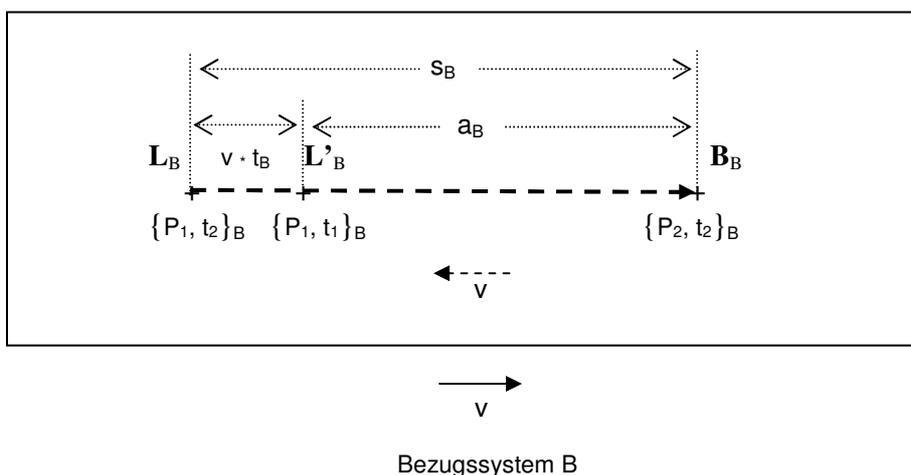
die Dopplerfrequenz  $f_B = f_0 \cdot (1 + v / c_0) \cdot \gamma$

Für die Wellenlänge des vom Beobachter empfangenen Lichtes errechnet sich aus

$$s_B = n \cdot \lambda_B = t_B \cdot c_0 = n \cdot T_B \cdot c_0 = n \cdot (1 / f_B) \cdot c_0 \text{ und damit } f_B \cdot \lambda_B = f_A \cdot \lambda_A = f_0 \cdot \lambda_0 = c_B = c_A = c_0$$

die Dopplerwellenlänge  $\lambda_B = \lambda_0 \cdot 1 / [(1 + v / c_0) \cdot \gamma]$

b) Die Lichtquelle bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  vom Beobachter weg



Für den Beobachter des Bezugssystems B gilt

$$s_B / t_B = c_0 = (a_B + v \cdot t_B) / t_B = (a_A \cdot 1 / \gamma + v \cdot t_B) / t_B$$

Mit  $a_A = t_A \cdot c_0$  folgt  $(t_A \cdot c_0 \cdot 1 / \gamma + v \cdot t_B) / t_B = c_0$

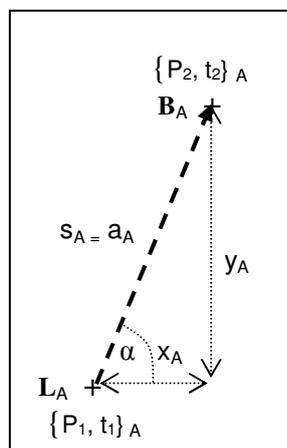
Aufgelöst nach  $t_B$  ergibt dies  $t_B = t_A \cdot [1 / (1 - v / c_0)] \cdot 1 / \gamma$

und mit  $t_B = n \cdot T_B$  bzw.  $t_A = n \cdot T_A$  sowie  $1 / T_A = f_A = f_0$  erhalten wir

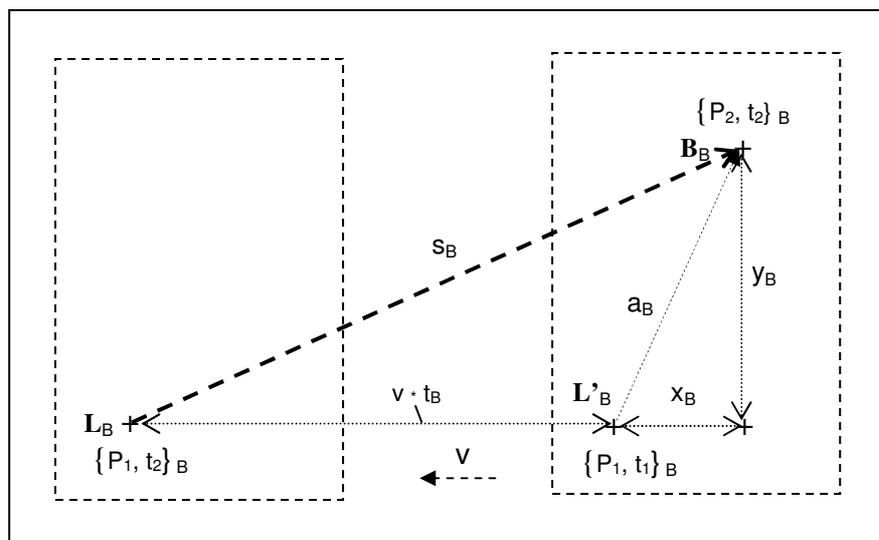
die Dopplerfrequenz  $f_B = f_0 \cdot (1 - v / c_0) \cdot \gamma$  und analog zu b)

die Dopplerwellenlänge  $\lambda_B = \lambda_0 \cdot 1 / [(1 - v / c_0) \cdot \gamma]$

c) Allgemeiner Fall der Relativbewegung zwischen Lichtquelle und Beobachter



Bezugssystem A



Bezugssystem B

Für den Beobachter des Bezugssystems B gilt

$$s_B = \sqrt{(x_B + v \cdot t_B)^2 + y_B^2}$$

Mit  $s_B / t_B = c_0$  und damit  $t_B = s_B / c_0$  folgt

$$t_B \cdot c_0 = \sqrt{(x_B + v \cdot t_B)^2 + y_B^2}$$

$$t_B^2 \cdot c_0^2 = (x_B + v \cdot t_B)^2 + y_B^2$$

Mit  $y_B = y_A = s_A \cdot \sin \alpha = t_A \cdot c_0 \cdot \sin \alpha$  und  $x_B = x_A \cdot 1/\gamma = s_A \cdot \cos \alpha \cdot 1/\gamma = t_A \cdot c_0 \cdot \cos \alpha \cdot 1/\gamma$  folgt

$$t_B^2 \cdot c_0^2 = (t_A \cdot c_0 \cdot \cos \alpha \cdot 1/\gamma + v \cdot t_B)^2 + t_A^2 \cdot c_0^2 \cdot \sin^2 \alpha$$

Indem man die quadratische Gleichung nach  $t_B$  auflöst, erhält man

$$t_B = t_A \cdot \gamma [1 + (v / c_0) \cdot \cos \alpha]$$

und mit  $t_B = n \cdot T_B$  bzw.  $t_A = n \cdot T_A$  und  $1 / T_A = f_A = f_0$  sowie abhängig vom Vorzeichen der Relativbewegung  $v$  ergibt sich schließlich

die allgemeine Formel für die relativistische Dopplerfrequenz

$$f_B = f_0 \cdot 1/\gamma \cdot 1 / [1 \pm (v / c_0) \cdot \cos \alpha]$$

### 3.2 Objektivität von Raum und Zeit kontra Relativitätstheorie

Wie wir unter Kap. 3.1 gezeigt haben, ist die Herleitung der Relativität von Raum und Zeit gemäß den Vorgaben der Speziellen Relativitätstheorie mathematisch in sich schlüssig. Die entscheidende Vorgabe der *absoluten* Konstanz der Lichtgeschwindigkeit aber ist gemäß den bisherigen Betrachtungen keine notwendige Voraussetzung, um die beobachtbare Konstanz der Empfangslichtgeschwindigkeit zu erklären.

Anders verhält es sich jedoch mit dem in Kap. 3.1 abgeleiteten relativistischen Dopplereffekt, der unter der Annahme einer objektiven, nichtrelativistischen Betrachtungsmöglichkeit von Raum und Zeit so nicht auftreten dürfte.

Betrachten wir hierzu nochmals die Ergebnisse gemäß Kap. 2.3 und 3.1:

a) Im Fall, dass sich Sender (Lichtquelle) und Empfänger (Beobachter) mit der Geschwindigkeit  $v$  in Richtung der Lichtausbreitung aufeinander zubewegen, erhalten wir

die nichtrelativistische Dopplerfrequenz  $f_E = f_0 (1 + v / c_0)$

bzw. die relativistische Dopplerfrequenz  $f_B = f_0 (1 + v / c_0) \cdot \gamma$

b) Im Fall, dass sich Sender (Lichtquelle) und Empfänger (Beobachter) mit der Geschwindigkeit  $v$  in Richtung der Lichtausbreitung von einander weg bewegen, erhalten wir

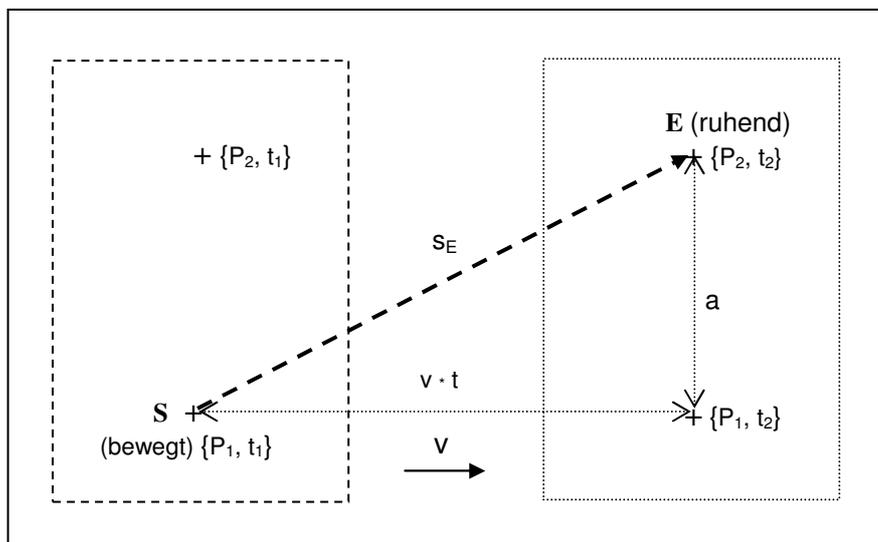
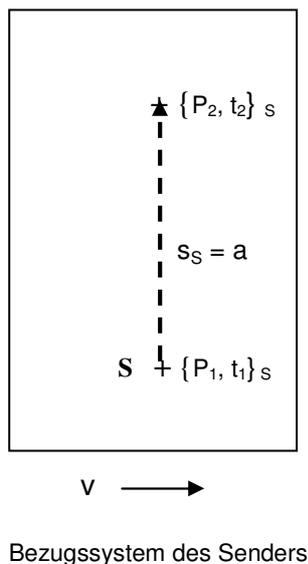
die nichtrelativistische Dopplerfrequenz  $f_E = f_0 (1 - v / c_0)$

bzw. die relativistische Dopplerfrequenz  $f_B = f_0 (1 - v / c_0) \cdot \gamma$

c) Im speziellen Fall, dass sich Sender (Lichtquelle) und Empfänger (Beobachter) mit der Geschwindigkeit  $v$  senkrecht zur Richtung der Lichtausbreitung aufeinander zubewegen, tritt gemäß Relativitätstheorie ein transversaler relativistischer Dopplereffekt auf

mit der relativistischen Dopplerfrequenz  $f_B = f_o \cdot 1/\gamma$

Da wir letzteren Fall unter der Annahme einer objektiven, nichtrelativistischen Betrachtungsmöglichkeit von Raum und Zeit bisher nicht untersucht haben, wollen wir dies nachstehend tun.



(objektiv) ruhendes Bezugssystem des Empfängers

Für das als objektiv angenommene Bezugssystem des Empfängers gilt

$$s_E = \sqrt{a^2 + [v(t_2 - t_1)]^2} = \sqrt{a^2 + (v \cdot t)^2}$$

Das heißt, dass ein Feldpunkt der abgestrahlten elektromagnetischen ‚Welle‘ bzw. eines abgestrahlten Lichtquants in der Zeit  $t$  die objektive Strecke  $s_E$  durchläuft.

Die Geschwindigkeit eines Feldpunktes der elektromagnetischen ‚Welle‘ bzw. des einzelnen Lichtquants ist dann wie bereits unter Kap. 2.5 im Zusammenhang mit der nichtrelativistischen Erklärung des Michelson-Morley-Experimentes gezeigt

$$c = \sqrt{a^2 + (v \cdot t)^2} / t = \sqrt{a^2 / t^2 + v^2} = \sqrt{c_0^2 + v^2}$$

Da die Relativgeschwindigkeit  $v$  voraussetzungsgemäß einen konstanten Wert hat und solange  $a$  als Parallelabstand des Empfängers (Beobachters) zum Sender (Lichtquelle) konstant ist, haben somit auch  $c$  und  $t$  diskrete konstante Werte; in anderen Worten kann es für eine bestimmte Geschwindigkeit  $v$  und einen bestimmten Abstand  $a$  auch nur einen *einzig*en festen Zeitpunkt  $t$  geben, in dem ein Feldpunkt der elektromagnetischen ‚Welle‘ bzw. ein einzelnes Lichtquant beobachtet werden kann.

Diese Zeit  $t$ , in der der Feldpunkt die Strecke zwischen den Ereignispunkten  $\{P_1, t_1\}$  und  $\{P_2, t_2\}$  durchläuft, ist in beiden Bezugssystemen, wie leicht überprüft werden kann

$$t = a / c_0$$

*Ein transversaler Dopplereffekt kann somit in unserem Fall beim Empfänger nicht auftreten. Ein Dopplereffekt ist gemäß nichtrelativistischer Theorie nur bei Relativbewegungen in Achsenrichtung der Lichtausbreitung beobachtbar.*

Diese Feststellung deckt sich mit dem an der Johannes Kepler Universität Linz im Jahre 2003 von Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hartwig Thim geführten experimentellen Nachweis des Nichtauftretens eines relativistischen transversalen Dopplereffektes mit Hilfe eines Mikrowellen-Interferometers.\*

Da sich die beiden Theorien hinsichtlich des Auftretens eines transversalen Dopplereffektes, aber auch bezüglich der Bestimmungsgleichungen für die Dopplerfrequenz bzw. die Dopplerwellenlänge des in Richtung der Lichtausbreitung beobachtbaren Dopplereffektes unterscheiden, ist die Frage, ob für den bei Relativbewegungen zwischen Sender und Empfänger auftretenden Dopplereffekt die Veränderung von Raum und Zeit gemäß Relativitätstheorie oder die Veränderung der Auftreffgeschwindigkeit der Feldpunkte der abgestrahlten elektromagnetischen ‚Welle‘ bzw. der Lichtquanten gemäß nichtrelativistischer Theorie ursächlich sind, entscheidend für die Richtigkeit der Speziellen Relativitätstheorie und all ihrer Schlussfolgerungen.

Das Postulat der absoluten Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und die daraus ableitbare Veränderung von Raum (Raumstauchung) und Zeit (Zeitdilatation) für den Beobachter eines relativ zu ihm bewegten Ereignisses ist nicht ausreichend für den Nachweis der Richtigkeit dieser Theorie, solange nur die Empfangslichtgeschwindigkeit und nicht die Absolutgeschwindigkeit eines einzelnen Lichtquants bzw. genauer gesagt die Geschwindigkeit eines Feldpunktes des abgestrahlten elektromagnetischen Quantenfeldes relativ zu einem festen, von der Relativgeschwindigkeit der Lichtquelle (des Senders) unabhängigen Bezugspunkt gemessen werden kann.

---

\* H.W.Thim, „Absence of the transverse Doppler shift at microwave frequencies“, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 52, No. 5, pp. 1660 - 1665, October 2003, ISSN 0018-9456

## 4. Masse, Impuls und Energie eines Lichtquants

Auch bei der Bestimmung von Masse, Impuls und Energie eines Lichtquants müssen wir aufgrund der bisherigen Betrachtungen zur Lichtgeschwindigkeit zwischen der Relativitätstheorie und einer auf der nichtrelativistischen Anschauung von Raum und Zeit basierenden Theorie der objektiven Bewegungsabläufe (in der Folge „Objektivitätstheorie“ genannt) unterscheiden.

### 4.1 Masse, Impuls und Energie eines Lichtquants gemäß Relativitätstheorie

Aufgrund des Postulats der Relativitätstheorie nach absoluter Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für alle Beobachter leitet sich nicht nur ab, dass Zeit und Raum von der Relativgeschwindigkeit zwischen Beobachter und beobachtetem Objekt abhängen, sondern auch die Masse eines Körpers hat aus Sicht des Beobachters je nach Bewegungszustand unterschiedliche Werte. (Auf eine Ableitung wird hier verzichtet.)

Gemäß Relativitätstheorie gilt  $M_B = M_o * 1 / \sqrt{1 - (v / c_o)^2} = M_o * \gamma$

mit  $v$  = Geschwindigkeit des beobachteten Objekts aus Sicht eines ruhenden Beobachters

$M_B$  = Masse eines mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegten Körpers aus Sicht eines ruhenden Beobachters (Bewegungsmasse)

$M_o$  = Masse eines aus Sicht des ruhenden Beobachters ruhenden Körpers (Ruhemasse)

$\gamma = 1 / \sqrt{1 - (v / c_o)^2}$  = Relativitätsfaktor

Ist das beobachtete Objekt ein Lichtquant mit der Bewegungsmasse  $m$ , so gilt gemäß Relativitätstheorie

$$m = m_o * \gamma \text{ bzw. } m_o = m * 1 / \gamma$$

mit  $m$  = Bewegungsmasse eines Lichtquants

$m_o$  = Ruhemasse eines Lichtquants

Da die Geschwindigkeit des Lichtquants aus Sicht des ruhenden Beobachters immer konstant  $c_o$  beträgt, gilt

$$m_o = m * \sqrt{1 - (c_o / c_o)^2} = m * 0 = 0$$

Die Ruhemasse  $m_o$  eines Lichtquants ist gemäß Relativitätstheorie immer Null.

Umgekehrt lässt sich zwar mit  $m = m_o * \gamma$  die Bewegungsmasse eines Lichtquants angeben, doch wenn es relativ zum Beobachter mit Lichtgeschwindigkeit fließt, kann sein tatsächlicher Wert wegen

$$m = m_o * \gamma = 0 * \infty$$

auf diese Weise nicht bestimmt werden.

Zur Bestimmung der Bewegungsmasse eines Lichtquants stellen wir einen Bezug zwischen Masse und Energie her, und zwar gilt

Kraft = Masse x Beschleunigung  $K = m * dv / dt$

Energie = Kraft x Weg

$$E = \int K \cdot ds$$

Aus diesen beiden Gleichungen erhält man die Beziehung

$$E = \int m \cdot (ds/dt) \cdot dv = \int m \cdot v \cdot dv$$

Für ein Lichtquant mit der konstanten Geschwindigkeit  $c_0$  ergibt sich

$$E = \int m \cdot c_0 \cdot dv = m \cdot c_0 \int dv = m \cdot c_0 (c_0 - 0) = m \cdot c_0^2$$

Mit dieser Beziehung und der aus der Quantentheorie bekannten Gleichung für die von einer relativ zum Beobachter ruhenden Lichtquelle abgestrahlten Energie eines Lichtquants

$$E = h \cdot f_0$$

mit  $h$  = Plancksches Wirkungsquantum

$f_0$  = Frequenz der von der Lichtquelle abgestrahlten elektromagnetischen ‚Welle‘

erhalten wir für die Bewegungsmasse eines Lichtquants

$$m = h \cdot f_0 / c_0^2$$

Damit lassen sich Bewegungsmasse, Impuls und Energie eines von einer relativ zum Beobachter ruhenden Lichtquelle abgestrahlten Lichtquants gemäß Relativitätstheorie zusammenfassend wie folgt angeben, und da  $c_0$  und  $h$  Konstanten sind, gilt

$$m = h \cdot f_0 / c_0^2 \sim f_0$$

$$p = m \cdot c_0 = h \cdot f_0 / c_0 \sim f_0$$

$$E = m \cdot c_0^2 = h \cdot f_0 \sim f_0$$

Hierbei ist zu beachten, dass aus Sicht des Beobachters Bewegungsmasse, Impuls und Energie eines Lichtquants bei einer relativ zum Beobachter bewegten Lichtquelle mittels der Dopplerfrequenz des empfangenen Lichtes zu bestimmen ist.

Wie unter Kap. 3.1 abgeleitet, ergibt sich für die relativistische Dopplerfrequenz bei gleichförmiger Bewegung der Lichtquelle in Achsrichtung der Lichtausbreitung zum ruhenden Beobachter hin

$$f_B = f_0 \cdot (1 + v / c_0) \cdot \gamma$$

Somit erhält man für Bewegungsmasse, Impuls und Energie eines Lichtquants aus Sicht des Beobachters die Beziehungen

$$m_B = h \cdot f_B / c_0^2 \sim f_B$$

$$p_B = m_B \cdot c_0 = h \cdot f_B / c_0 \sim f_B$$

$$E_B = m_B \cdot c_0^2 = h \cdot f_B \sim f_B$$

## 4.2 Masse, Impuls u. Energie eines Lichtquants gemäß Objektivitätstheorie

Nach der Theorie räumlicher und zeitlicher Objektivität aller Bewegungsabläufe ist die Vakuumgeschwindigkeit eines Lichtquants, wie unter 2.3 dargestellt, im ruhenden räumlichen Bezugssystem abhängig von der Bewegung des Senders (Lichtquelle) relativ zu diesem Bezugssystem. Befindet sich die Lichtquelle in Ruhe ( $v = 0$ ) oder bestimme ich Masse, Impuls und Energie eines Lichtquants relativ zum Sender ( $c = c_0$ ), so gilt wie in der Relativitätstheorie

$$m = h * f_0 / c_0^2 \sim f_0$$

$$p = m * c_0 = h * f_0 / c_0 \sim f_0$$

$$E = m * c_0^2 = h * f_0 \sim f_0$$

In Bewegungsrichtung eines Senders mit der Geschwindigkeit  $v$  beträgt hingegen die Geschwindigkeit eines Lichtquants relativ zum ruhenden Bezugssystem

$$c = c_0 + v$$

Für die Bestimmung der Masse bzw. des Massenäquivalents eines Lichtquants bedienen wir uns wieder der Energiegleichung

$$E = \int m * (ds / dt) * dv$$

Für den speziellen Fall mit  $c = c_0 + v_c = \text{konstant}$  ergibt sich damit

$$E = \int m (c_0 + v_c) dv = m (c_0 + v_c) \int dv = m (c_0 + v_c) (c_0 + v_c - v_c) = m (c_0^2 + c_0 v_c)$$

$$E = m * c_0^2 + m * c_0 v_c$$

Setzen wir dieses Ergebnis in Beziehung zur Energiegleichung der elektromagnetischen Strahlung, so erhalten wir

$$E = m * c_0^2 + m * c_0 v_c = h * f_E$$

mit  $f_E = \text{Frequenz des betrachteten Lichtes relativ zum ruhenden Bezugssystem (Empfangsfrequenz des ruhenden Empfängers)}$

Für  $f_E$  gilt gemäß Objektivitätstheorie bei Ausbreitung des Lichtes in Bewegungsrichtung des Senders (vgl. 2.3 B)

$$f_E = f_0 (1 + v_c / c_0)$$

Ersetzen wir in obiger Energiegleichung  $h$  durch  $m * c_0^2 / f_0$  und  $f_E$  durch  $f_0 (1 + v_c / c_0)$ , so sehen wir, dass die beiden unabhängig von einander ermittelten Energiewerte des Lichtquants eines bewegten Senders (Lichtquelle) übereinstimmen

$$E = h * f_E = (m * c_0^2 / f_0) * f_0 (1 + v_c / c_0) = m * c_0^2 + m * c_0 v_c$$

Damit lassen sich Masse, Impuls und Energie eines Lichtquants gemäß Objektivitätstheorie zusammenfassend wie folgt angeben

$$m = h * f_E / (c_0^2 + c_0 v_c) = h * f_0 / c_0^2 \sim f_0$$

$$p = m \cdot c_0 + m \cdot v_c = h \cdot f_E / c_0 \sim f_E$$

$$E = m \cdot c_0^2 + m \cdot c_0 v_c = h \cdot f_E \sim f_E$$

Die Objektivitätstheorie kennt somit anders als die Relativitätstheorie den Begriff Ruhemasse nicht. Stattdessen kann man jedoch bei einem ruhenden Körper ( $v = 0$ ) von seiner „Ruheenergie“ sprechen. Diese ist mit der potentiellen Strahlungsenergie  $E_0 = m \cdot c_0^2$  des ruhenden Körpers gleich.

Die Masse eines Körpers ist gemäß Objektivitätstheorie demnach ein Maß für seine „Ruheenergie“ bzw. die potentielle Strahlungsenergie des ruhenden Körpers. Hinsichtlich der Gravitationswirkung zwischen Körpern stellt sich die Frage, ob hierfür die „Ruheenergie“ der Körper (Masse im Sinne der Objektivitätstheorie) oder ihre relative Gesamtenergie („Ruheenergie“ zuzüglich der durch zusätzliche Energiezufuhr bedingten Energieerhöhung) maßgebend ist. Aufgrund der im Sinne der Relativitätstheorie beobachteten ‚Massen‘-Zunahme bewegter Körper muss im Fall der Objektivitätstheorie Letzteres in Betracht gezogen werden.

Für die Masse bzw. das Massenäquivalent eines Lichtquants erhalten wir gemäß Objektivitätstheorie den gleichen Wert wie für dessen Bewegungsmasse relativ zur Lichtquelle in der Relativitätstheorie. Sie ist proportional der Strahlungsenergie eines von einem ruhenden Körper abgestrahlten Lichtquants und gleich dem Massendefekt, den dieser Körper bei der Abstrahlung dieses Lichtquants erleidet. Im Fall des ruhenden Senders (Lichtquelle) bzw. relativ zum bewegten Sender ( $f_E = f_0$  und  $v = 0$ ) sind auch Impuls und Energie eines Lichtquants identisch mit den Werten gemäß Relativitätstheorie.

Aus der Impuls- und Energiegleichung

$$p = m \cdot c_0 + m \cdot v_c \quad \text{bzw.}$$

$$E = m \cdot c_0^2 + m \cdot c_0 v_c$$

lässt sich sehr schön ablesen, dass der durch die Bewegung des Senders (Lichtquelle) zum ruhenden Bezugssystem bewirkte zusätzliche Impuls- bzw. Energieanteil  $\Delta p = m \cdot v_c$  bzw.  $\Delta E = m \cdot c_0 v_c$  beträgt; d.h.

$$p = p_0 + \Delta p = h \cdot f_0 (1 + v_c / c_0) / c_0 = h (f_0 + \Delta f) / c_0$$

$$E = E_0 + \Delta E = h \cdot f_0 (1 + v_c / c_0) = h (f_0 + \Delta f)$$

mit  $p_0 =$  Impuls des Lichtquants eines ruhenden Senders (bzw. relativ zum bewegten Sender)

$E_0 =$  Energie des Lichtquants eines ruhenden Senders (bzw. relativ zum bewegten Sender)

Für den ruhenden Empfänger (ruhender Beobachter relativ zum ruhenden Bezugssystem) stellen sich Impulserhöhung  $\Delta p$  und Energieerhöhung  $\Delta E$  als Dopplereffekt dar, wobei sich der zusätzliche Impuls- bzw. Energieanteil proportional zum Wert  $\Delta f = f_0 \cdot v_c / c_0$  (Zunahme der Lichtfrequenz) und damit auch proportional zur Geschwindigkeit des Senders verhält. Da der Zunahme der Dopplereffrequenz theoretisch keine Grenzen gesetzt sind, gilt dies auch für Impuls und Energie eines Lichtquants, unter der Voraussetzung, dass die Strahlungsquelle relativ zum ruhenden Empfänger Überlichtgeschwindigkeiten erreichen kann.

Es gilt

$$\Delta p \sim \Delta E \sim \Delta f \sim v_c$$

Aus Sicht des Empfängers ist allerdings zu beachten, dass die Empfangsgeschwindigkeit des Lichtes ( $c_E = f_E \cdot \lambda_E$ ) immer konstant  $c_0$  ist (vgl. Kap. 2.3 und 2.4) und damit eine objektive Überlichtgeschwindigkeit des Lichtquantenstromes allein aufgrund der Messgrößen  $f_E$  und  $\lambda_E$  nicht feststellbar ist. Dies bedeutet, dass aus relativistischer Sicht des Empfängers auch bei der Ermittlung der Energie und damit der Bestimmung des Massenäquivalents eines Lichtquants von einer konstanten Lichtgeschwindigkeit  $c_0$  des Quantenstromes auszugehen ist.

Mit 
$$\Sigma E_E = n \cdot m_E \cdot c_E^2 = n \cdot m_E \cdot c_0^2 = n \cdot h \cdot f_E$$

als Gesamtenergie des Lichtquantenstromes aus  $n$  Lichtquanten erhalten wir für das Massenäquivalent eines einzelnen Lichtquants aus Sicht des Empfängers die Beziehung

$$m_E = h \cdot f_E / c_0^2$$

Ähnlich wie in der Relativitätstheorie haben wir es aus Sicht des Empfängers demnach hier mit einer relativistischen ‚Massen‘-Zunahme zu tun.

Wegen	$f_B = f_0 \cdot (1 + v / c_0) \cdot \gamma$	gemäß Relativitätstheorie
und	$f_E = f_0 \cdot (1 + v / c_0)$	gemäß Objektivitätstheorie

ist diese jedoch in unserem Fall um den Relativitätsfaktor  $\gamma$  geringer.

Nach dem bisher Gesagten ist einzusehen, dass auch die Ablenkung des Lichtes im Gravitationsfeld und die beobachtete ‚Massen‘-Zunahme beschleunigter Teilchen keine hinreichenden Beweise für die Richtigkeit der Relativitätstheorie sind, da auch gemäß Objektivitätstheorie das Licht Massenäquivalenz besitzt und die relativistische ‚Massen‘-Zunahme bewegter Teilchen auch damit erklärt werden kann, dass, objektiv gesehen, für deren Gravitationswirkung die relative Gesamtenergie der Teilchen maßgebend ist.

## 5. Zusammenfassung

Wie eingangs unter Kap.1 gezeigt, sind die physikalischen Beobachtungsergebnisse abhängig vom jeweiligen Bezugssystem des Beobachters. Da sich aus Sicht des Beobachters die unterschiedlichsten Bezugssysteme wählen lassen, stellt sich die Frage, in welchem Bezugssystem sind die physikalischen Beobachtungen mit den vom Bezugssystem des Beobachters unabhängigen Naturgesetzen am ehesten in Einklang zu bringen.

Für die Beobachtung des Lichtes gilt, dass die Beobachtungsergebnisse am ehesten mit den bekannten physikalischen Gesetzmäßigkeiten übereinstimmen, wenn man die Lichtquelle selbst als Bezugspunkt eines ruhenden Bezugssystems wählt ( $c = c_0$ ). Bei einer nichtrelativistischen Auffassung von Raum und Zeit können jedoch nicht alle zueinander in Bewegung befindlichen Sender (Lichtquellen) hinsichtlich der Lichtgeschwindigkeit zugleich als gleichwertige Bezugspunkte eines Bezugssystems gewählt werden. In der Relativitätstheorie wird dies dadurch möglich, dass die Lichtgeschwindigkeit als unabhängig vom Bezugssystem angenommen wird und damit Raum und Zeit als relativistische, d.h. von der Relativgeschwindigkeit zwischen Lichtquelle und Beobachter abhängige Größen, anzusehen sind.

Dies führt jedoch nicht nur hinsichtlich der physikalischen Größen von Raum und Zeit, sondern auch bezüglich der Masse eines Körpers zu relativistischen, von der Relativbewegung des jeweiligen Beobachters abhängigen Bestimmungsgrößen.

Das in unserem Fall gewählte bevorzugte Bezugssystem lässt hingegen zu, dass Raum und Zeit so-

wie die Masse eines Körpers (= potentielle Strahlungsenergie eines ruhenden Körpers) als vom Beobachtungspunkt unabhängige physikalische Größen erhalten bleiben. Hinsichtlich der Gravitationswechselwirkung zwischen zueinander bewegten Körpern muss jedoch, wie unter Kap. 4.2 aufgezeigt, anders als in der klassischen Physik die relative Gesamtenergie der Bezugskörper als Wirkungsgröße in Betracht gezogen werden, d.h. dass auch gemäß Objektivitätstheorie dem Licht eine von der Relativbewegung abhängige Bewegungsmasse zuzuordnen ist und daher eine Beeinflussung durch Gravitationsfelder gegeben ist. *Somit ist auch die Ablenkung des Lichtes im Gravitationsfeld kein ausreichender Beweis für die Richtigkeit der Relativitätstheorie.*

In unserem bevorzugten, als objektiv angenommenen Bezugssystem sind die Vakuumlichtgeschwindigkeit sowie Impuls und Energie eines von einem Sender abgestrahlten Lichtquants vom Bewegungszustand des Senders relativ zum ruhenden Bezugssystem abhängig und nur für den Fall des ruhenden Senders bzw. relativ zum bewegten Sender als Bezugspunkt mit den Werten gemäß Relativitätstheorie identisch.

Die Empfangslichtgeschwindigkeit (die beim Empfänger in Achsrichtung der Lichtausbreitung beobachtbare Phasenlichtgeschwindigkeit) ist auch bei dem als objektiv angenommenen Bezugssystem unabhängig von den Bewegungen des Senders und Empfängers immer konstant  $c_0$ .

Entscheidend bei der Frage, welche Theorie die physikalische Wirklichkeit richtig beschreibt, ist die experimentelle Untersuchung, ob die Lichtgeschwindigkeit eines Feldpunktes des abgestrahlten elektromagnetischen Quantenfeldes, d.h. die absolute Lichtgeschwindigkeit, wie in der Relativitätstheorie postuliert, unabhängig vom Bezugssystem immer konstant  $c_0$  ist oder ob hierbei die Geschwindigkeit des Senders in Bezug auf das als ruhend angenommene bevorzugte Bezugssystem gemäß Objektivitätstheorie Berücksichtigung finden muss. Für einen solchen Nachweis reicht das Michelson-Morley-Experiment oder auch eine sonstige Messung der Lichtgeschwindigkeit einer Lichtwelle bzw. eines Lichtteilchenstromes relativ zur 'ruhenden oder bewegten' Lichtquelle oder relativ zum 'ruhenden oder bewegten' Beobachter nicht aus.

Eine Möglichkeit der Überprüfung ist jedoch die genauere Untersuchung des Dopplereffektes, wobei nicht nur die Frequenz einer abgestrahlten elektromagnetischen 'Welle' bzw. eines Teilchenstromes, sondern auch deren Wellenlänge bzw. Teilchenabstand sowohl beim Sender als auch beim Empfänger und davon unabhängig die Relativgeschwindigkeit  $v$  zwischen Sender und Empfänger unter Vakuumbedingungen bestimmt werden müssen.

Wie unter Kap. 3.1 und 3.2 gezeigt, differieren Empfangsfrequenz und Empfangswellenlänge in beiden Theorien um dem Relativitätsfaktor  $\gamma$ . Der gemäß Relativitätstheorie erwartete Transversale Dopplereffekt darf zudem gemäß Objektivitätstheorie nicht auftreten.

Der experimentelle Nachweis, dass es einen Transversalen Dopplereffekt nicht gibt, wäre somit ein hinreichender Beweis gegen die Spezielle Relativitätstheorie.

Ein positiver Beweis für die Richtigkeit der Objektivitätstheorie wäre der Nachweis, dass im Falle einer Relativbewegung in Achsrichtung zwischen Sender und Empfänger bei der experimentellen Bestimmung der Dopplerfrequenz und Dopplerwellenlänge die Bedingung

$$f_E = f_0 * (1 \pm v / c_0) \quad \text{und}$$

$$\lambda_E = \lambda_0 / (1 \pm v / c_0)$$

erfüllt ist und der Relativitätsfaktor  $\gamma$  nicht auftritt.

## Anhang:

### **Überlegungen zu den Anisotropie-Experimenten von G.F.Smoot et al.**

Die allgemein akzeptierte Theorie sagt, dass die kosmische Hintergrundstrahlung (*cosmic microwave background* = CMB) das Ergebnis eines ‚Urknalls‘ ist, mit dem vor ca. 13,7 Mrd. Jahren unser heutiges Universum seinen Anfang nahm. Die Streuung von Photonen an Materieteilchen, die wir als CMB messen und die offensichtlich den gesamten Weltraum ausfüllt, stammt danach von einer sphärischen Oberfläche, die als „Oberfläche der letzten Streuung“ (*surface of last scattering*) bezeichnet wird. Diese etwa 380.000 Jahre nach dem ‚Urknall‘ entstandene Strahlung erreicht heute unsere Erde. Durch die Ausdehnung des Weltraums erfährt auch die CMB eine Rotverschiebung. Die Rotverschiebung der Hintergrundstrahlung wird mit  $z = 1089 \pm 0,1\%$  angegeben. Strahlung, die aus überdichten Regionen entweicht, erfährt zudem eine Gravitationsrotverschiebung (Sachs-Wolfe-Effekt), so dass die Hintergrundstrahlung in den entsprechenden Richtungen nur eine geringfügig niedrigere Temperatur hat. Diese schwachen Temperaturschwankungen in kleineren Bereichen (ca. 0,001%) wurden durch die Satelliten COBE im Jahr 1993 und WMAP im Jahre 2003 beobachtet, ändern aber nichts an der Tatsache, dass die CMB nahezu homogen und isotrop ist und nur kleine Störungen aufweist.<sup>1</sup>

Auch die Beobachtung der Anisotropie der CMB im Experiment von G.F. Smoot des Jahres 1977 ist durch Satellitenbeobachtungen mehrfach bestätigt worden (COBE 1991 und WMAP 2003).

Die beobachtete dipolartige Anisotropie der CMB in Richtung und Gegenrichtung der LEO-Konstellation (Sternbild Löwe) wird dabei einvernehmlich auf eine Bewegung der Erde (unseres Sonnensystems) relativ zur CMB in Richtung Sternbild Löwe zurückgeführt.

Die Messungen von COBE im Jahr 1991 ergaben eine Erdgeschwindigkeit relativ zur CMB von  $v = 371 \pm 0,5$  km/sec, die von WMAP im Jahre 2003  $v = 368 \pm 0,2$  km/sec (Messung von G.F. Smoot in 1977:  $v = 390 \pm 60$  km/sec).<sup>2</sup>

Sowohl bei Zugrundelegung des nicht-relativistischen als auch des relativistischen Dopplereffektes ergibt sich als Verhältnisgleichung der beobachteten blau und rot verschobenen Dopplerfrequenzen die Beziehung

$$f_b / f_r = (1 + v/c_0) / (1 - v/c_0) \quad (1)$$

bzw. für die Dopplerwellenlängen

$$\lambda_b / \lambda_r = (1 - v/c_0) / (1 + v/c_0) \quad (2)$$

womit die Empfangslichtgeschwindigkeit auch in Achsrichtung der beobachtbaren Licht-Anisotropie jeweils  $c_E = f_b * \lambda_b = f_r * \lambda_r = c_0$  beträgt.

Ein Beweis gegen die Spezielle Relativitätstheorie (SRT) ist hieraus nicht ableitbar, da gemäß Relativitätstheorie alle Inertialsysteme gleichberechtigt sind, d.h. die kosmische Hintergrundstrahlung als Bezugssystem keine Sonderstellung einnimmt und der Dopplereffekt im Falle der Relativitätstheorie nicht auf eine Änderung der Lichtgeschwindigkeit, sondern auf die Änderung von Raum und Zeit entsprechend der Relativbewegung zwischen dem Bezugssystem ‚Lichtquelle‘ und dem Bezugssystem des Beobachters zurückgeführt wird.

<sup>1</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Hintergrundstrahlung>

<sup>2</sup> vgl. C.E. Navia, C.R.A. Augusto, D.F. Franceschine, M.B. Robba und K.H. Tsui, Search for anisotropic light propagation as function of laser beam alignment relative to the Earth's velocity vector, February 5, 2008

Wenn wir hingegen die gemessenen Blau- und Rotverschiebungen der CMB in Richtung bzw. Gegenrichtung der LEO-Konstellation ins Verhältnis setzen zu der im 90°-Winkel hierzu beobachtbaren CMB, stellt sich die Situation anders dar.

Gemäß Relativitätstheorie tritt nämlich ein transversaler Dopplereffekt auf, während im nicht-relativistischen Fall die transversale Empfangsfrequenz gleich der Sendefrequenz  $f_0$  ist. Es gilt somit

a) beim nicht-relativistischen Dopplereffekt (mit  $f_d$  = beobachtbare Dopplerfrequenz in Richtung bzw. Gegenrichtung der LEO-Konstellation und  $f_t$  = beobachtbare Frequenz der CMB senkrecht dazu)

$$f_d / f_t = (1 \pm v/c_0) \quad (3)$$

b) beim relativistischen Dopplereffekt (mit  $f_d$  = beobachtbare Dopplerfrequenz in Richtung bzw. Gegenrichtung der LEO-Konstellation und  $f_t$  = beobachtbare Frequenz der CMB senkrecht dazu;  $\gamma$  = Relativitätsfaktor)

$$f_d / f_t = (1 \pm v/c_0) * \gamma^2 \quad (4)$$

Da  $f_d$  und  $f_t$  messtechnisch bestimmbar und  $v$  gemäß Gleichung (1) aus  $f_b / f_r$  ermittelbar, sind alle Werte in den Gleichungen (3) und (4) gegeben.

Da sich aber Gleichung (3) und (4) um den Faktor  $\gamma^2$  unterscheiden, kann nur eine der beiden Beziehungen richtig sein.

Legen wir die WMAP-Messung von 2003 zugrunde, so errechnet sich

$$\gamma^2 = 1 / (1 - v^2/c_0^2) = 1,000001507 \pm 2 * 10^{-9}$$

Mit  $1 + v/c_0 = 1,0012275 \pm 7 * 10^{-7}$  ergeben sich für das Verhältnis der blau verschobenen Dopplerfrequenz in Richtung der LEO-Konstellation zu der im 90°-Winkel hierzu beobachtbaren CMB-Frequenz folgende Werte:

a) im Fall des nicht-relativistischen Dopplereffektes

$$f_b / f_t = (1 + v/c_0) = 1,0012275 \pm 7 * 10^{-7}$$

a) im Fall des relativistischen Dopplereffektes

$$f_b / f_t = (1 + v/c_0) * \gamma^2 = (1,0012275 \pm 7 * 10^{-7}) * 1,000001507 \pm 2 * 10^{-9} = 1,0012290 \pm 8 * 10^{-7}$$

Da die Abweichungen der beiden Werte im Bereich der Messfehlergrenze und zudem innerhalb der schwachen Temperaturschwankungen (Anisotropien) der CMB liegen, die von der Relativbewegung zwischen Erde und CMB unabhängig sind, ist der messtechnische Nachweis, welche der beiden Werte und damit welche der beiden Theorien richtig oder falsch ist, auch auf diese Weise leider nicht möglich.

Die Tatsache, dass eine dipolartige Anisotropie der CMB nur in einer Achsrichtung zu beobachten ist, ist allerdings ein klarer Hinweis, dass es sich hierbei um keine objektive Anisotropie der CMB handelt, sondern dass dafür die Relativbewegung zwischen Beobachter und Hintergrundstrahlung ursächlich ist, d.h. es handelt sich bei der in Richtung der LEO-Konstellation beobachtbaren Anisotropie eindeutig um einen Dopplereffekt.

Wenn man zudem davon ausgeht, dass aufgrund der oben gemachten Ausführungen über die Entstehung der weitgehend isotropen kosmischen Hintergrundstrahlung ein relativ zu dieser Hintergrundstrahlung in Ruhe befindliches Bezugssystem als bevorzugtes, objektives Bezugssystem gelten kann, wobei dessen Nullpunkt sinnvollerweise mit dem Ausgangspunkt des ‚Urknalls‘ zusammenfällt, darf auch die von G.F. Smoot festgestellte Bewegung unseres Planeten in Richtung LEO-Konstellation als objektiv betrachtet werden. Sie resultiert dann offensichtlich aus Überlagerungen der Gravitationsbewegungen der Erde, unseres Sonnensystems, der gesamten Milchstraße, der zugehörigen Galaxienhaufen und evtl. auch aus einer Relativbewegung aufgrund der fortdauernden Ausdehnung des gesamten Universums.

Anders als in der Relativitätstheorie dürfen wir dann die von G.F. Smoot und anderen beobachteten Veränderungen von Frequenz und Wellenlänge (Photonenabstand) der CMB auch nicht so interpretieren, als handele es sich um einen ruhenden Beobachter. Aus Sicht eines objektiven, relativ zur CMB in Ruhe befindlichen Bezugssystems, ändern sich nämlich Frequenz und Wellenlänge (Photonenabstand) der CMB auf ihrem Weg zur Erde nicht; d.h. auch Raum und Zeit unterliegen aus objektiver Sicht keiner Transformation. Ursächlich für den beim Erdbeobachter auftretenden Dopplereffekt ist aus Sicht eines solchen objektiven Bezugssystems einzig und allein die Erdbewegung und die dadurch veränderte Auftreffgeschwindigkeit des Photonenstrahles (der Lichtwelle) beim Beobachter. Während sich die Geschwindigkeit der Photonen, d.h. die Lichtgeschwindigkeit  $c_0$ , objektiv nicht verändert, erhöht oder vermindert sich in diesem Fall die Auftreffgeschwindigkeit der Photonen beim Empfänger um die Erdgeschwindigkeit  $v$ ; d.h.  $c = c_0 \pm v$ . Dies führt, wie unter Kap. 2.3 gezeigt, dazu, dass sich die Empfangsfrequenz  $f_E$  und der Empfangsabstand der Photonen (die Empfangswellenlänge)  $\lambda_E$  wie folgt verändern:

$$f_E = f_0 * (1 \pm v / c_0) \quad \text{und}$$

$$\lambda_E = \lambda_0 / (1 \pm v / c_0)$$

Die Empfangsgeschwindigkeit des Photonenstrahles (der Lichtwelle) aus Sicht des Erdbeobachters beträgt dann stets

$$c_E = f_E * \lambda_E = f_0 * \lambda_0 = c_0$$

Wenn sich der Beobachter objektiv nicht in Ruhe befindet, darf diese Empfangsgeschwindigkeit (Lichtphasengeschwindigkeit) auch nicht mit der tatsächlichen Geschwindigkeit  $c$  der Photonen relativ zum Beobachter (Auftreffgeschwindigkeit) gleichgesetzt werden.

Würde die Geschwindigkeit der Photonen relativ zum Beobachter immer konstant  $c_0$  sein, wie dies die Relativitätstheorie fordert, dürfte objektiv gesehen, beim Erdbeobachter kein Dopplereffekt auftreten, da sich Frequenz und Photonabstand (Wellenlänge) der CMB ja objektiv nicht verändern.

Die Entdeckung der CMB und das Ergebnis der Anisotropie-Experimente von G.F. Smoot und anderen zusammen mit der Theorie über die Entstehung der weitgehend isotropen kosmischen Hintergrundstrahlung liefern zwar keinen Beweis gegen die Richtigkeit der SRT, stellen diese aber zumindest infrage, da es entgegen der Annahme der Relativitätstheorie wohl doch ein bevorzugtes Bezugssystem gibt, das eine objektive Sichtweise aller kosmischen Bewegungsabläufe erlaubt. Auch die Doppler-Anisotropie der CMB kann auf diese Weise widerspruchsfrei erklärt werden, während die Relativitätstheorie bei der Erklärung der beobachteten Doppler-Anisotropie aus Sicht eines relativ zur CMB ruhenden Bezugssystems wegen des Postulats der absoluten Lichtgeschwindigkeit zu Widersprüchen führt.