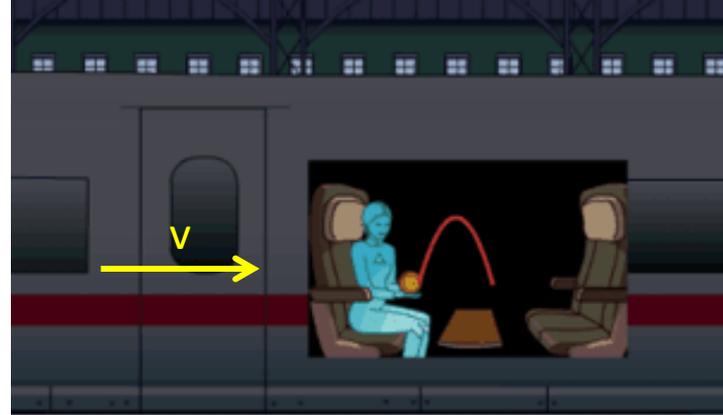
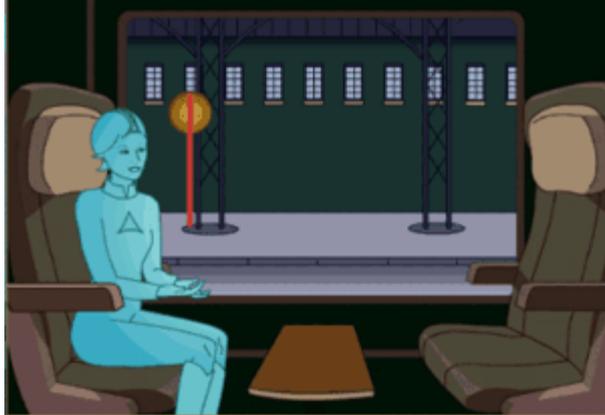


Relativistische Kinematik



... Einsteins Postulate

Gedankenexperiment:

Wie kann man in einem vollständig nach außen abgeschlossenen System feststellen, ob es sich in Ruhe oder gleichförmiger Bewegung befindet?



- alle Experimente laufen auf die gleiche Weise ab
 - Es gelten die Gesetze der Newtonschen Mechanik
 - *Es ist nicht entscheidbar ...*
- } $F=0 \rightarrow$ gleichf. Bew.
(Trägheitsgesetz)

Ein Bezugssystem, in dem sich ein kräftefreier Körper geradlinig und gleichförmig bewegt (1. Newtonsches Axiom = Trägheitsgesetz) bezeichnet man als **Inertialsystem** (lat. *iners* = untätig, träge).

Ein Bezugssystem, welches sich geradlinig gleichförmig gegenüber einem Inertialsystem bewegt, ist ebenfalls ein Inertialsystem.

1. Postulat: „Relativitätsprinzip“

Alle Inertialsysteme sind bezüglich physikalischer Gesetze gleichberechtigt.

→ ... 17.Jhdt: Suche nach einem absolut ruhenden Bezugssystem

Die Äther-Theorie

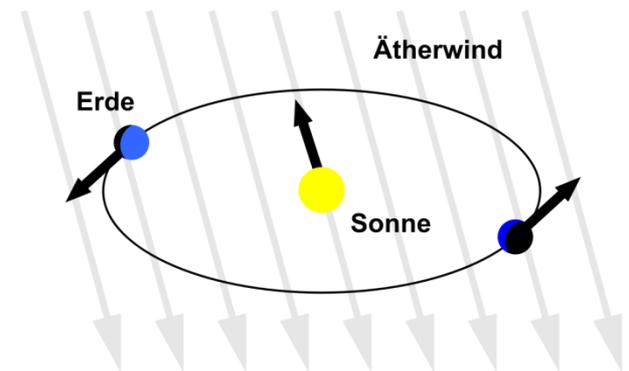
Unter dem Äther verstand man ein Medium mit der die Ausbreitung des Lichtes als stofflicher Träger erklärt wurde und der gesamte kosmische Raum ausgefüllt ist.

Dieses Medium ist unsichtbar, besitzt keine Masse und ist unbeweglich.

→ Mit Hilfe der Äther-Theorie konnten viele physikalische Erscheinungen (z.B. der *Elektrodynamik - Felder*) erklärt werden.

→ Bis zum Ende des 19.Jht konnte seine Existenz jedoch nicht nachgewiesen werden.

1881 führte Albert A. Michelson (und 1887 Edward W. Morley) ein physikalisches Experiment zur Untersuchung der Äther-Theorie durch.

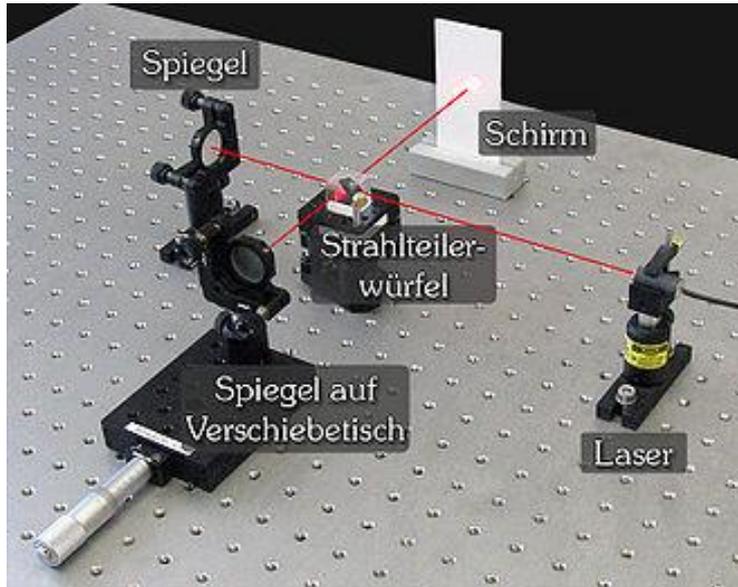


→ absolute Ruhezustand

► Michelson-Morley-Experiment

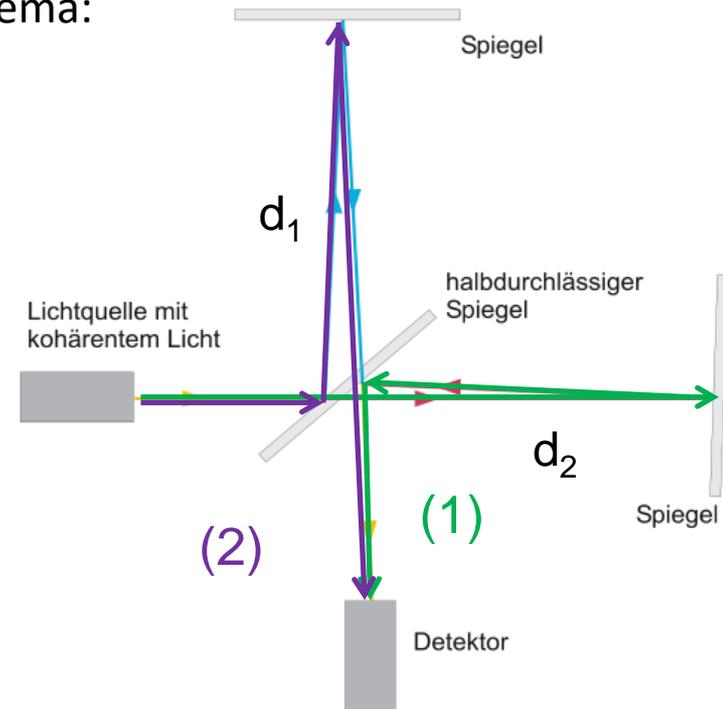
Michelson-Morley-Experiment

exp. Aufbau:



Spiegelabstände $d_1 = d_2$

Schema:



Ein Lichtstrahl legt nach Reflexion zwei verschiedene Wege (1) und (2) zurück und erzeugen beim Auftreffen am Detektor ein Interferenzmuster

Das Interferenzmuster ist von der Wegstrecke (bzw. der Zeit für die Wegstrecke) abhängig.

In einem absolut ruhenden System (Erde – Äther) wären die Wegstrecken und Laufzeiten gleich, aber die Erde bewegt sich ($v=30\text{km/s}$) gegenüber dem Äther ...

Lichtimpuls bei
ruhender Anordnung



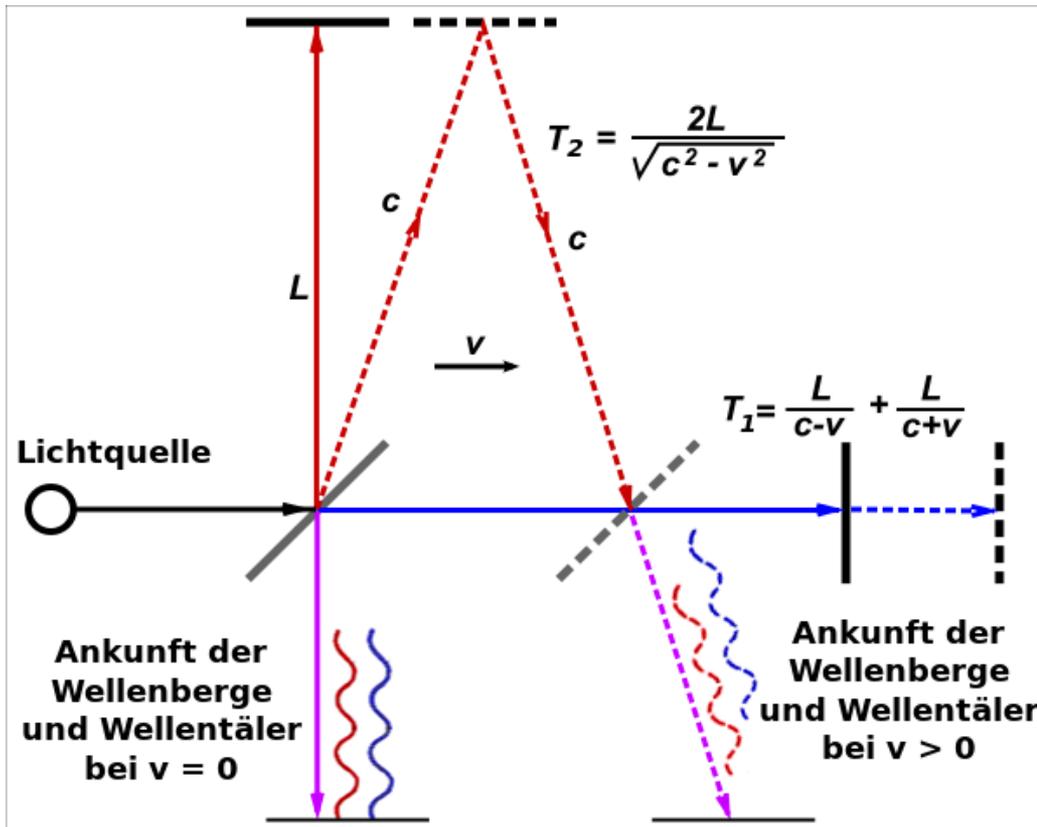
*beide Lichtimpulse kommen
gleichzeitig (in Phase) an*

Lichtimpuls bei
bewegter Anordnung



*beide Lichtimpulse kommen
zeitversetzt (phasenverschoben) an*

mathematische Betrachtung des Lichtweges:



Die Zeiten des Lichtsignales quer bzw. längs zur Bewegung sind unterschiedlich

$$T_2 < T_1$$

Drehung der Versuchsanordnung um 90° müsste andere Laufzeiten ergeben.

Aber, kein Unterschied nachweisbar !

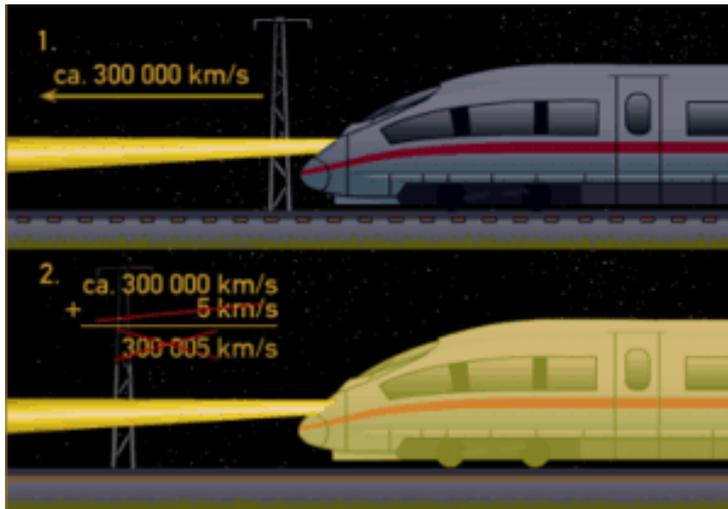


Es gibt keinen absoluten (ruhenden) Raum, es gibt keinen Äther.

Die Lichtgeschwindigkeit ist unabhängig von der Bewegung des Bezugssystem.

2. Postulat: „Konstanz der Lichtgeschwindigkeit“

Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist in allen Inertialsystemen gleich groß. Sie ist unabhängig von der Bewegung der Lichtquelle und des Beobachters bei der Messung.



Unabhängig von der Bewegung des Zuges ändert sich die Lichtgeschwindigkeit nicht.

Sie hat einen Wert von:

$$c = 299\,792,458 \text{ km/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



Bedeutung/Anwendung:

Licht und elektromagnetischen Wellen besitzen immer Lichtgeschwindigkeit.

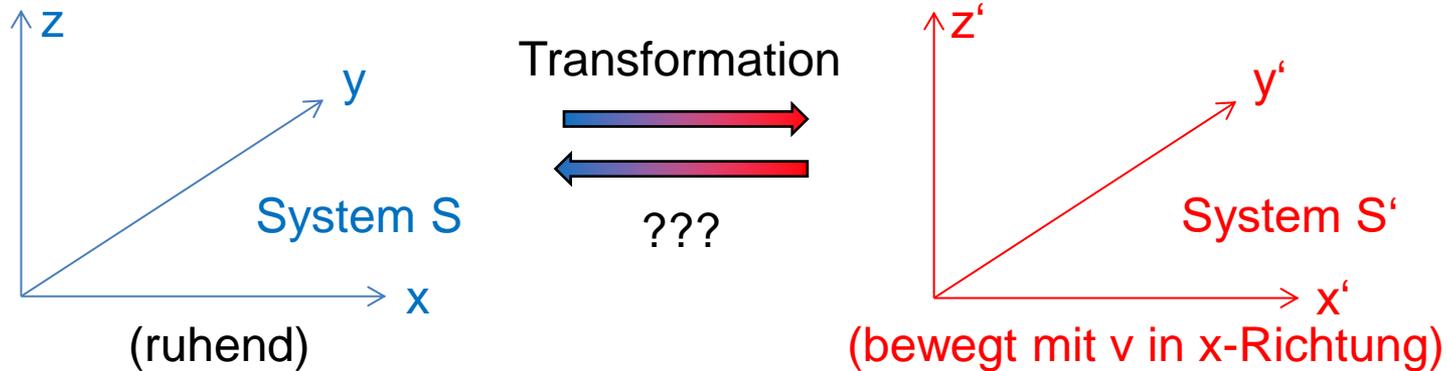
Sie eignen sich für Entfernungsmessungen und Positionsbestimmungen.

GPS



Aus der Laufzeit eines Signals verschiedener Satelliten mit synchronisierten Uhren kann eine genau Standortbestimmung berechnet werden.

Wechsel zwischen Bezugssystemen ?



Die klassische **Galilei-Transformation** ist für hohe Geschwindigkeiten nicht mehr erfüllt. ... sie muss korrigiert werden ...

$$x' = k \cdot (x - v \cdot t)$$

$$x = k \cdot (x' + v \cdot t')$$

Die relativistische Umrechnung der Ortkoordinaten zweier verschiedener Inertialsysteme erfolgt mit der **Lorentz-Transformation**.

k ... Korrekturfaktor
(Lorentzfaktor)

t ... Zeit im System S

t' ... Zeit im System S'

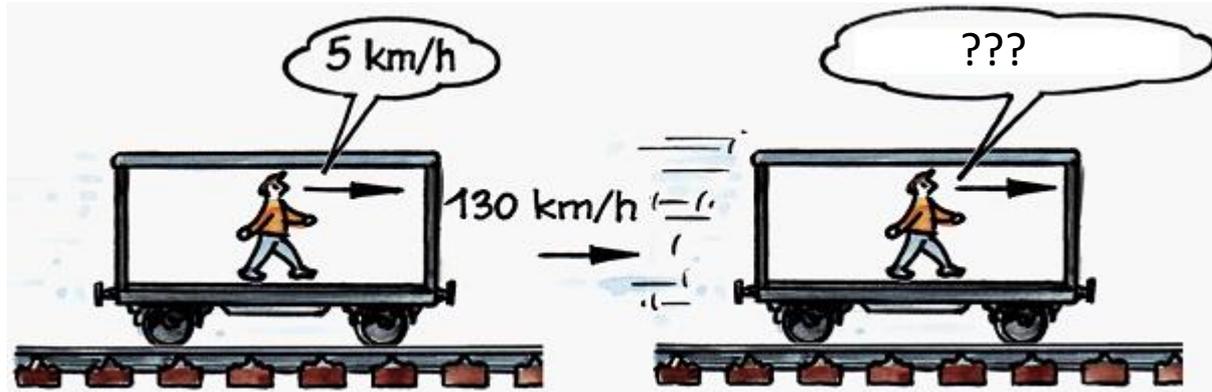
$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Grenzwertbetrachtung:

$$v \rightarrow 0: \quad k \rightarrow 1:$$

$$v \rightarrow c: \quad k \rightarrow \infty:$$

klassische und relativistische Geschwindigkeitsaddition:



$$v_{kl} = 135 \text{ km/h}$$

klassische
Geschwindigkeitsaddition

$$v = v_1 + v_2$$

$$v_{rel} = 134,99999... \text{ km/h}$$

relativistische
Geschwindigkeitsaddition

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}$$

Bewegen sich beide Systeme mit Lichtgeschwindigkeit c , so ergibt die relativistische Geschwindigkeitsaddition wieder die Lichtgeschwindigkeit c .

- Informationen können maximal mit Lichtgeschwindigkeit übertragen werden.