

# Die Spezielle Relativitätstheorie von Albert Einstein

## **Womit beschäftigt sich die Spezielle Relativitätstheorie?**

Die spezielle Relativitätstheorie beschäftigt sich mit der Frage, was passiert, wenn sich Dinge mit fast Lichtgeschwindigkeit durch den Raum bewegen.

- Gibt es eine **obere Grenze für die Geschwindigkeit** und warum?
- Gilt das **Geschwindigkeits-Additionsgesetz**? (wenn ich im Zug nach vorne gehe addiert sich meine Geschwindigkeit zur Geschwindigkeit des Zuges)
- Wie **verzerrt** sich meine Umgebung?
- Wie verhält es sich mit **Masse und Energie** bei so hohen Geschwindigkeiten?
- **Warum** wurde die Relativitätstheorie entwickelt?

## **Was war der Anstoß für diese Theorie?**

Am Ende des 19. Jahrhunderts kam es in vielen Bereichen der Physik zu einer Umgestaltung – die Gebiete Elektrotechnik, Mechanik, Optik und Wärmelehre flossen auf der Basis der **Atomtheorie** zu einer gemeinsamen Theorie zusammen und dabei wurden Grundlagen neu betrachtet.

Die **Äthertheorie** des Lichts, die gut zur Annahme passt, dass das Licht eine Wellennatur hat, geht davon aus, dass das Licht – ähnlich wie der Schall – ein Medium braucht, um sich ausbreiten zu können. Nun ist aber die Natur des Äthers unklar geworden. Er müsste ja sehr dicht sein, um so eine hohe Geschwindigkeit des Lichts zu ermöglichen. (Je dichter die Materie, desto größer ist die Schallgeschwindigkeit). Andererseits aber durchsichtig sein und eine ganz geringe Dichte haben, da die Planeten sich ja darin bewegen können - ohne Reibung.

Als man anfing, die Winde des Äthers und die Relativbewegung der Erde im Äther zu untersuchen, fand man keine. Das **Michelson-Morley-Experiment** sollte feststellen, ob es in verschiedenen Himmelsrichtungen verschiedene Lichtgeschwindigkeiten gibt (auf Grund der Relativbewegung der Erde im Äther müsste dies ja sein). Es ergab aber keine Unterschiede.

## **Ende der Äthertheorie**

Daraus leiteten die mutigsten Physiker und Albert Einstein ab, dass es offensichtlich **keinen Äther** gäbe. Außerdem führte dieses Ergebnis zu der Annahme, dass die **Lichtgeschwindigkeit eine Naturkonstante** sein muss, die im Vakuum überall gleich ist, egal ob ich in Ruhe bin oder mich bewege.

Das führt zu einem **Widerspruch zu den Additionsgesetzen der Geschwindigkeit**. Wenn in einem System, das sich mit einer gewissen Geschwindigkeit  $v$  bewegt und einen Lichtstrahl mit Geschwindigkeit  $c$  aussendet, kann es nicht sein, dass sich beide Geschwindigkeiten addieren, da ein außenstehender ruhender Beobachter einen Lichtstrahl nur mit Lichtgeschwindigkeit erkennen kann, aber nicht mit einer höheren Geschwindigkeit.

## Lorentz-Transformation

Das führte dazu, dass sich Hendrik Antoon **Lorentz** mit der Addition von Geschwindigkeiten bei der Relativbewegung von 2 Systemen beschäftigte und die LORENTZ-Transformation erfand.

Dabei wird als Grundannahme genommen:

- die **Konstanz der Lichtgeschwindigkeit** und
- das **Relativitätsprinzip** (Alle Inertialsysteme - das sind kräftefreie Systeme - sind gleichberechtigt und die Naturgesetze werden in ihnen gleich beschrieben).

## Hauptaussagen der Speziellen Relativitätstheorie

Aus den Gleichungen der Lorentztransformation folgt aber sehr rasch, dass die Zeit in den verschiedenen Systemen nicht mehr gleich gemessen wird.

- **Gleichzeitigkeit** kann es nicht mehr geben
- Bewegte Uhren gehen langsamer (**ZEITDILATATION**)
- die Längen werden verkürzt (**LÄNGENKONTRAKTION**)

$$t' = t * \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$s' = s * \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Einstein hat dieses System weiterentwickelt und fand noch heraus, dass es eine Basisenergie aller Dinge gibt, die sich aus der Formel  $\boxed{E = m \cdot c^2}$  ablesen lässt.

Die **Gesamtenergie** eines Körpers (Ruheenergie  $E_0 = m \cdot c^2$  und kinetische Energie  $E_{kin}$ ) ergibt sich zu:

- $E_0 + E_{kin} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} * c^2 = m \cdot c^2$

Jetzt war zwar nicht klar, wo diese Energie sichtbar wird, aber sie kam als Rechengröße in den Formeln vor. Erst die Kernspaltung hat diese gewaltige Energie sichtbar gemacht.

Auch die **Masse** bleibt bei hohen Geschwindigkeiten nicht gleich, sie wächst bis unendlich beim Erreichen der Lichtgeschwindigkeit:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (\text{m ist die bewegte Masse, } m_0 \text{ die Ruhemasse})$$

Die **Addition von Geschwindigkeiten** erfolgt nun mit der Formel:

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

$u'$  ( $u$ ) ist die Geschwindigkeit eines Körpers, gemessen im Inertialsystem  $S'$  (bzw.  $S$ ),

$v$  ist die Relativgeschwindigkeit des Systems  $S'$  gegen das System  $S$

$c$  ist die Lichtgeschwindigkeit ( $300\,000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ )

**Bemerkung zum FAKTOR**  $\boxed{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$

Der Faktor verkleinert Zeit und Weg – der Kehrwert vergrößert die Masse und die Energie!

Geschwindigkeit (in % der Lichtgeschwindigkeit)	10%	20%	50%	80%	90%	95%	99%
Faktor	0,99	0,98	0,87	0,60	0,44	0,31	0,14