

Albert Einstein
Spezielle Relativitätstheorie (SRT)

Verwendete Quellen: weltderphysik.de/thema/albert-einstein-und-die-relativitaetstheorie/spezielle-relativitaetstheorie

Prof. Dr. Markolf H. Niemz „Lucy mit c – Mit Lichtgeschwindigkeit ins Jenseits“

Begriffserklärung Inertialsystem:

„Ausgangspunkt der Speziellen Relativitätstheorie ist das Prinzip, dass die physikalischen Gesetze in *allen* Inertialsystemen dieselbe Gestalt haben. Unter einem *Inertialsystem* versteht man dabei ein System, das sich entweder *in Ruhe* befindet oder *geradlinig* und *mit konstanter Geschwindigkeit* bewegt.

Zwei Beispiele: Einen guten Eindruck eines solchen Inertialsystems vermittelt ein Jumbo-Jet auf einem Transatlantikflug bei ruhigem Wetter und mit verdunkelten Fenstern. Wenn der Fluggast das Rauschen der Turbinen als ein Rauschen einer Klimaanlage deutet, wird er kaum unterscheiden können, ob das Flugzeug am Boden steht oder mit 900 km/h fliegt. Ein Passagier kann sich alle möglichen mechanischen, elektrischen oder optischen Versuche ausdenken, um die Geschwindigkeit des Jets zu messen. Es wird ihm nicht gelingen, solange diese Experimente auf den *Innenbereich* des geschlossenen „Kastens“ Flugzeug beschränkt bleiben und keine Signale von außen empfangen werden. Sobald aber das Flugzeug startet, eine Kurve fliegt oder landet, spürt man dies im Innern sofort. In diesen Fällen ist das Flugzeug ein *beschleunigtes Bezugssystem*, und dort gelten andere Gesetze als in einem Inertialsystem. Auch in einem Karussell oder einer startenden Weltraumrakete wird der Mitfahrer andere Gesetzmäßigkeiten feststellen. Solche beschleunigten Bezugssysteme sind Gegenstand der Allgemeinen Relativitätstheorie [hierbei spielt die Gravitation eine zusätzliche Rolle].

Ein weiteres Beispiel für Inertialsysteme sind Rollsteige, die man z.B. in vielen Flughäfen findet. *Der Rollsteig und die ruhende Flughafenhalle bilden zwei Inertialsysteme, die sich relativ zueinander bewegen.* Nehmen wir an, eine Frau [es könnte selbstverständlich auch ein Mann sein] auf dem Rollsteig hat es besonders eilig und läuft ihrem Ziel entgegen. Für einen Beobachter außerhalb des Transportbandes bewegt sie sich mit einem Tempo, das sich aus der Summe von Rollband- und Gehgeschwindigkeit ergibt. Würde die Reisende genauso schnell gehen wie der Rollsteig, nur in entgegengesetzter Richtung, so würde sie für einen außenstehenden Betrachter im wahrsten Sinne des Wortes „auf der Stelle treten“.

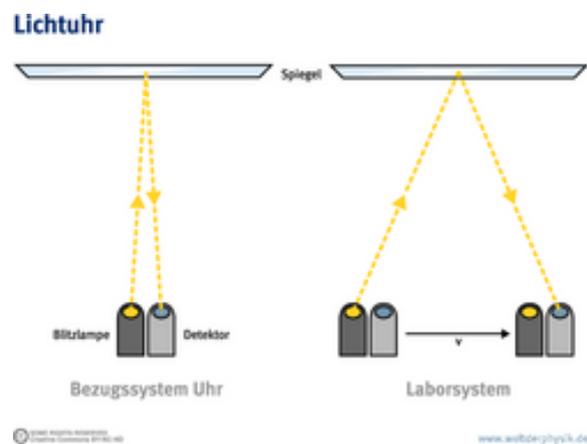
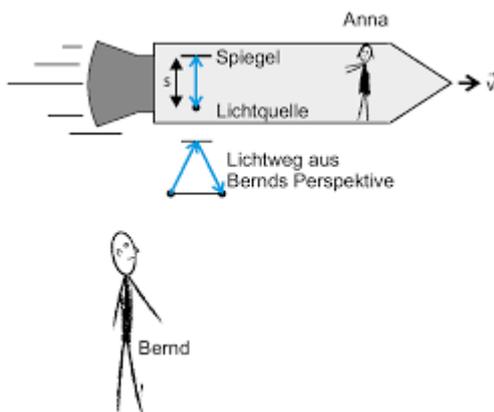
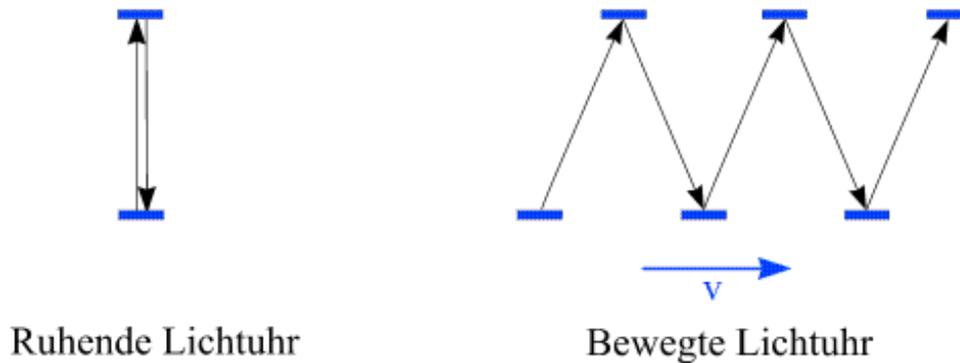
Diese einfache Addition oder Subtraktion der Geschwindigkeiten funktioniert im Alltag problemlos, doch sie hat Grenzen. Angenommen, die Frau bleibt stehen und macht mit ihrer Kamera eine Blitzlichtaufnahme in Vorwärtsrichtung. Danach dreht sie sich um und macht eine zweite Aufnahme in entgegengesetzter Richtung. Werden die beiden Lichtblitze von einem neben dem Rollsteig stehenden Beobachter ebenfalls als verschieden schnell wahrgenommen werden? Nach dem vorherigen Beispiel sollte das nach vorn fliegende Blitzlicht schließlich um die Geschwindigkeit des Rollsteigs schneller sein, das nach hinten fliegende entsprechend langsamer. Diese naive Betrachtungsweise erweist sich jedoch als falsch: Beide Lichtblitze sind genau gleich schnell. [Es handelt sich hierbei um die *Konstanz der Lichtgeschwindigkeit c* . Die Lichtgeschwindigkeit ist unabhängig vom Bezugssystem und beträgt im Vakuum *immer* 299.792.458 m/s.]

Begriffserklärung relativistische Massenzunahme:

Körper haben eine Masse. Wenn sie masselos wären ($m=0$), könnten wir sie wohl nicht als solche bezeichnen. Eine Masse stellt das Maß dar, wie stark sich der Körper unseren Versuchen widersetzt, seinen momentanen Bewegungszustand zu ändern. Diese so genannte *relativistische Masse* ist allerdings davon abhängig, wie schnell sich der betreffende Körper gegenüber dem Beobachter bewegt. Die SRT besagt nun, dass es umso schwieriger ist, den jeweiligen Bewegungszustand eines Körpers zu ändern, je schneller sich dieser bereits bewegt. Und diese Schwierigkeit wächst noch um ein Vielfaches an, je mehr sich die momentane Geschwindigkeit dieses Körpers der Lichtgeschwindigkeit nähert. Es ist unmöglich, einen Körper ganz auf Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen: Denn je schneller dieser Körper bereits ist, umso mehr Energie muss aufgewendet werden, um seine Geschwindigkeit weiter zu steigern. Ganz nahe der Lichtgeschwindigkeit wird dieser Effekt so stark, dass eine unendlich hohe Energie notwendig wäre, um dem Körper die dann immer noch fehlende Differenz an Geschwindigkeit zu verleihen. Im Gegensatz zur *trägen Masse* oder *schweren Masse* in der klassischen Physik ist diese relativistische Masse nicht konstant, sondern nimmt mit ansteigender Geschwindigkeit immer weiter zu. Mit Erreichen der Lichtgeschwindigkeit würde die Masse eines Körpers rein theoretisch den Wert „unendlich“ annehmen.

Philosophisches Gedankenspiel hinsichtlich der Tatsache, dass die Masse eines Körpers mit Erreichen der Lichtgeschwindigkeit *unendlich* schwer werden würde. Es bedeutet, dass die Lichtgeschwindigkeit eine von der Natur selbst gegebene – also eine natürliche – Grenze oder Barriere für die Bewegung *jeder* Masse darstellt. Oder anders formuliert: Die relativistische Massenzunahme zwingt alles Materielle in unserer Welt dazu, entweder in Ruhe zu verharren oder sich mit einer Geschwindigkeit zu bewegen, die kleiner als c ist. Die Betonung liegt auf den Worten „alles Materielle“. Daraus folgt im Umkehrschluss, dass sich alles, was *keine* Ruhemasse aufweist, nach den Gesetzen der SRT durchaus mit c bewegen darf – wie beispielsweise das Licht selbst. Immaterielles (Geistiges) kann folglich etwas erreichen, das allem Materiellen in dieser Welt vorenthalten ist. Wie sähe das Ganze im übertragenen Sinne zum Beispiel für eine *immaterielle Seele* aus, die – an der Schwelle vom Leben zum Tod stehend – eine Nahtoderfahrung macht? Wenn man den zahlreichen Berichten von Betroffenen Glauben schenken darf, kollabieren in einer solchen existenziellen Grenzsituation Raum und Zeit quasi zum Nichts und die Seele fühlt sich masselos, d.h. befreit von Materie, sprich ihrem physischen Leib (der, wie wir gesehen haben, laut SRT zurückbleiben muss, weil er *nicht* auf c beschleunigt werden kann).

Begriffserklärung **Zeitdilatation**:



Eine unmittelbare Konsequenz der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ist die *Zeitdehnung* oder *Zeitdilatation*: Vom Laborsystem aus betrachtet „tickt“ eine Uhr in einem bewegten Bezugssystem langsamer. Einstein verdeutlichte die Zeitdehnung durch eines seiner berühmten Gedankenexperimente: die **Licht-Uhr**. Diese Uhr besteht aus einer Blitzlampe, einem Spiegel und einem Detektor. Die Blitzlampe sendet einen kurzen Lichtblitz in vertikaler Richtung aus, der zu einem Spiegel läuft, dort reflektiert wird und dann zum Detektor zurückläuft, wo sein Eintreffen durch ein Ticken angezeigt wird. Das Hin- und Zurücklaufen des Lichtblitzes entspricht dabei dem Hin- und Zurückschwingen des Pendels in einer Standuhr.

Bei der ruhenden Licht-Uhr ist der Lichtweg durch den Abstand von der Lampe zum Spiegel und zurück zum Detektor gegeben. Bei der horizontal bewegten Licht-Uhr bleibt der vertikale Abstand zum Spiegel unverändert, doch bis das Licht den Spiegel erreicht hat, ist der Spiegel bereits weitergeflogen, und bis das reflektierte Licht den Detektor erreicht, ist dieser noch weiter geflogen. Das Licht folgt also einer *längeren Dreiecksbahn* (siehe Grafiken). Trifft man jetzt – Albert Einstein folgend – die fundamentale Annahme, dass das Licht in beiden Systemen exakt die gleiche Geschwindigkeit c besitzt, so benötigt der Lichtblitz, vom Labor aus betrachtet, *mehr Zeit*, um zum Detektor zu gelangen. Die Tickgeräusche ertönen also seltener,

und der Zeittakt der bewegten Uhr erscheint dem ruhenden Beobachter verlängert, und zwar um den **Lorentzfaktor** [darauf kann ich jetzt nicht näher eingehen; bin weder Mathematiker, noch Physiker]. Bewegte Uhren gehen demnach langsamer. Die wichtigste Folgerung aus diesem Gedankenexperiment ist jedoch, dass in der Relativitätstheorie keine absolute Zeit mehr existiert. Das ist ein fundamentaler Bruch mit der Sichtweise der Naturwissenschaften und der Philosophie *vor* der Formulierung der Relativitätstheorie [Paradigmenwechsel]. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts ging man wie selbstverständlich davon aus, dass es eine absolute und überall gültige Zeit gäbe. Da die Geschwindigkeiten von alltäglichen Körpern wie Flugzeugen oder Satelliten weit unterhalb der Lichtgeschwindigkeit liegen, ist die Verlangsamung bewegter Uhren hier äußerst gering. Mit hochpräzisen Atomuhren ist sie aber gut messbar und für das Globale Positionierungssystem GPS von großer Bedeutung. Bewegt sich der GPS-Satellit beispielsweise mit einer Geschwindigkeit von rund vier Kilometern pro Sekunde relativ zum Empfänger, würde die ermittelte GPS-Position ohne entsprechende Korrekturen schon nach zwölf Stunden um einen guten Kilometer neben der tatsächlichen Position liegen.

Begriffserklärung **Längenkontraktion**:

Stellen wir uns folgendes Szenario vor: Du siehst eine Rakete an Dir vorbeifliegen und Du misst die Länge der Rakete. Dieselbe Rakete wird dann noch einmal im ruhenden Zustand gemessen und auf einmal fällt Dir auf, dass die Rakete im ruhenden Zustand länger ist als im bewegten Zustand. Das kann ja eigentlich nicht sein, oder? Dies ist ein relativistisches Phänomen der SRT und nennt sich *Längenkontraktion*. Bewegte Objekte wirken dabei für die (von außen) Betrachtenden kürzer, als sie eigentlich sind. Die Längenkontraktion tritt bei Geschwindigkeiten auf, die sich der Lichtgeschwindigkeit annähern. Ab 10 % der Lichtgeschwindigkeit c kann man in der Regel mit relativistischen Effekten rechnen.

Die Längenkontraktion besagt, dass die gemessene Länge von bewegten Objekten kürzer ist, als die ursprüngliche Länge im ruhenden Zustand. Sie findet dabei nur in Bewegungsrichtung statt.

Stell Dir nun – umgekehrt – vor, Du befindest dich als „ruhender Beobachter“ an Bord der Rakete, die mit nahezu Lichtgeschwindigkeit fliegt. In dem Fall rast die Erde mit dieser Geschwindigkeit an Dir vorbei bzw. kommt auf Dich zu. Jetzt wird die Erde aufgrund der Längenkontraktion als verkürzt wahrgenommen (und somit die Flugstrecke, sprich die Distanz zwischen Rakete und Erde).

Beispiel Myonen:

Eine maßgebliche Rolle spielen Zeitdilatation und Längenkontraktion für kurzlebige, massebehaftete und energiereiche Elementarteilchen, die zum Beispiel durch Kollisionen erzeugt werden. Die Zahl solcher instabilen Teilchen nimmt exponentiell ab und ist nach der so genannten Halbwertszeit auf die Hälfte abgesunken. Definiert ist diese Halbwertszeit für *ruhende Teilchen*, und das hat interessante Folgen: Bewegt sich ein Teilchen schnell [mit nahezu Lichtgeschwindigkeit] durch das Laborsystem, misst ein Forscher darin eine um den Lorentzfaktor *verlängerte* Halbwertszeit.

Wenn in der Erdatmosphäre – in ca. 10 Kilometer Höhe – energiereiche kosmische Strahlung (Protonen) auf Atome und Moleküle der oberen Luftschichten trifft, werden bei dieser Wechselwirkung (Atmosphäre/kosmische Strahlung) negativ geladene Elementarteilchen erzeugt, so genannte *Myonen*. Ein Myon trägt die gleiche elektrische Ladung wie ein Elektron, besitzt aber eine rund 207 mal größere Masse. Man spricht deshalb auch von *schweren*

