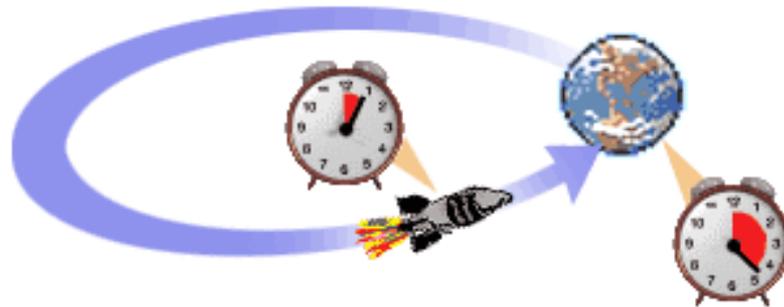


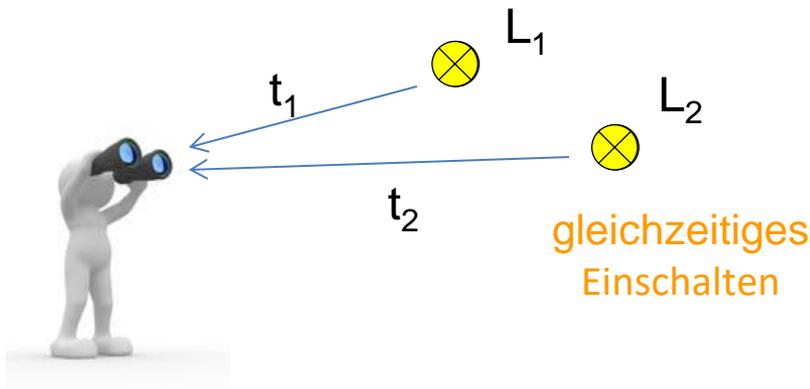
Relativität der Zeit



Ereignis:

Ein Ereignis in der Relativitätstheorie beschreibt einen Punkt, der durch **Ort** und **Zeit** eindeutig bestimmt ist.

→ Wie kann man feststellen, ob zwei Ereignisse an verschiedenen Orten gleichzeitig stattgefunden haben?



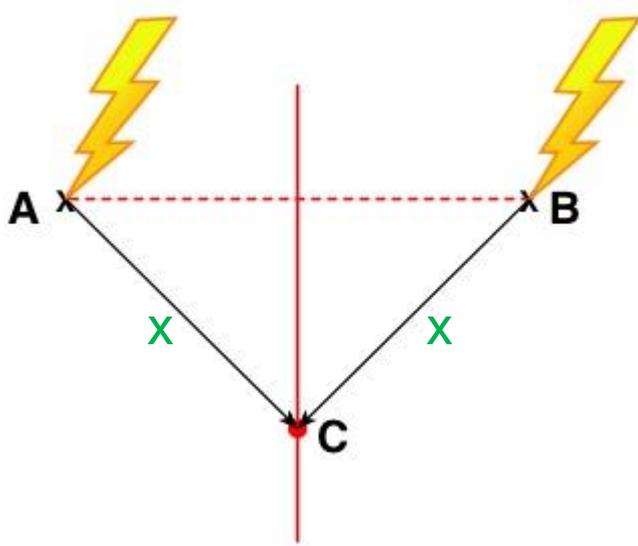
„Die Lampe L_1 ging eher an ...“

$$t_1 < t_2$$

→ *Widerspruch!*

- ▶ Die Laufzeit der Information ist von der Entfernung und von der Geschwindigkeit der Informationsausbreitung abhängig.

Definition der Gleichzeitigkeit ?



An den Orten **A** und **B** schlagen gleichzeitig zwei Blitze ein:

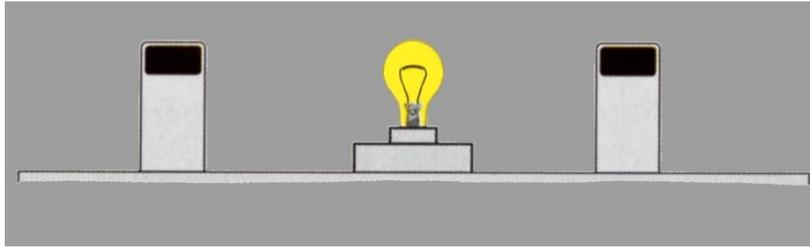
Befindet sich ein Beobachter **C** im gleichen Abstand **x** von den Orten **A** und **B** **entfernt**, so registriert er die beiden Ereignisse zum gleichen Zeitpunkt, weil die Laufzeiten für das Licht jeweils gleich groß sind.

*Das gilt ebenso für alle anderen Punkte auf der **roten Linie**.*

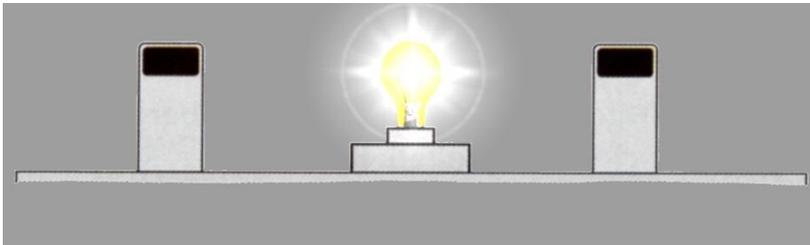
Zwei Ereignisse an verschiedenen voneinander entfernten Orten erfolgen in einem Inertialsystem dann **gleichzeitig**, wenn sich das von den Ereignissen ausgesendete Licht in der Mitte der beiden Orte gleichzeitig trifft.

Zur Messung der Zeiten an verschiedenen Orten benötigt man gleich laufende (synchrone) Uhren

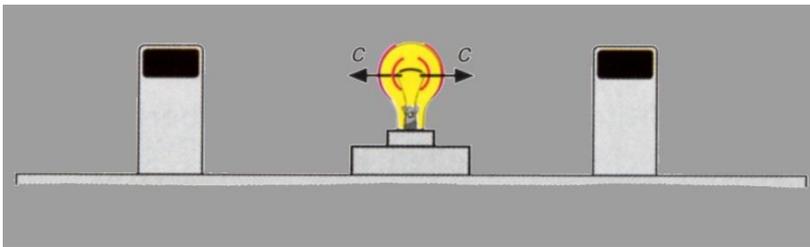
→ Einstein-Synchronisation



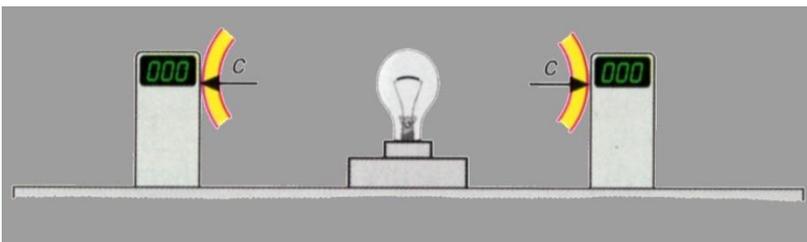
1. Eine Lampe befindet sich genau in der Mitte zwischen zwei Uhren.



2. Die Lampe sendet einen Blitz, einen Lichtimpuls, aus.



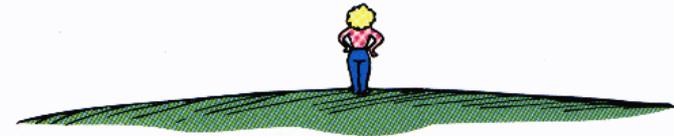
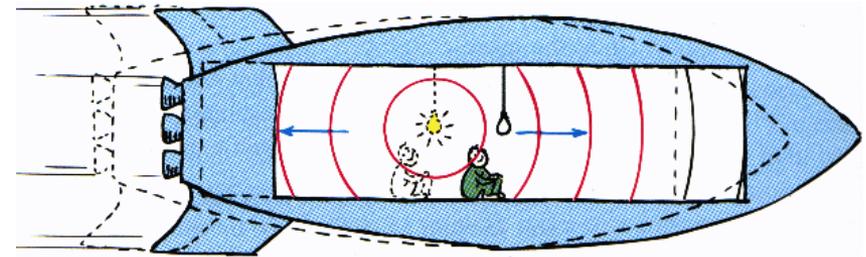
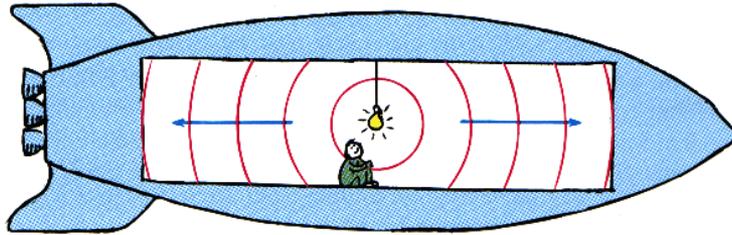
3. Der Lichtimpuls breitet sich zu beiden Lampen mit konstanter Lichtgeschwindigkeit c aus.



4. Der Impuls erreicht die Uhren **gleichzeitig** und startet sie.

Beide Uhren laufen synchron !

→ Was ist wenn sich das System bewegt ?



In der Mitte der Rakete wird ein Lichtimpuls ausgesendet ...

Für den Astronaut erreicht das Licht gleichzeitig das vordere und hintere Ende des Raumschiffes.

Für den außenstehenden Beobachter kommt das Licht am hinteren Ende eher als am vorderen Ende an.



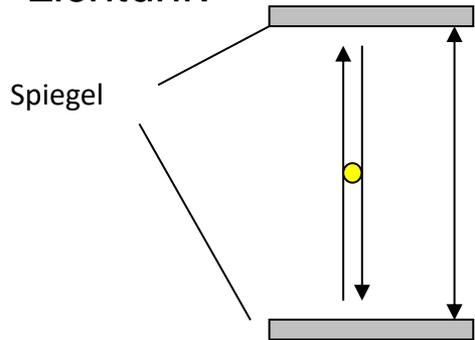
► **Relativität der Gleichzeitigkeit:**

Ereignisse, die an verschiedenen Orten eines Systems gleichzeitig stattfinden, sind in einem anderen, relativ dazu bewegten Bezugssystem, nicht gleichzeitig.

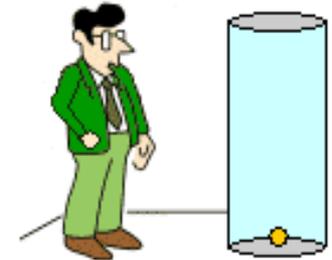
→ *Widerspruch zur absoluten Zeit ...*

Zeitmessung:

→ Lichtuhr:



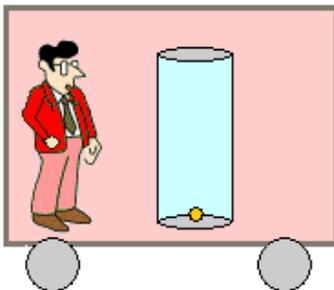
Bei einer Lichtuhr läuft ein Lichtblitz periodisch zwischen zwei Spiegeln hin und her. Die Länge l bestimmt den Takt der Uhr. Da l und c konstant sind geht die Uhr stets genau.



tick - tack - ...

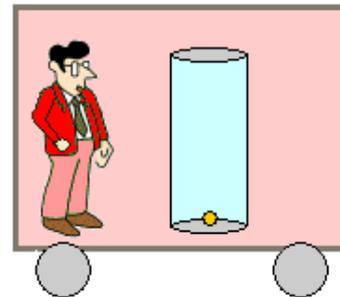
Betrachtung aus verschiedenen Bezugssystemen:

**(1) Beobachter, der sich mit der Uhr mit v mitbewegt:
(bewegtes System S')**

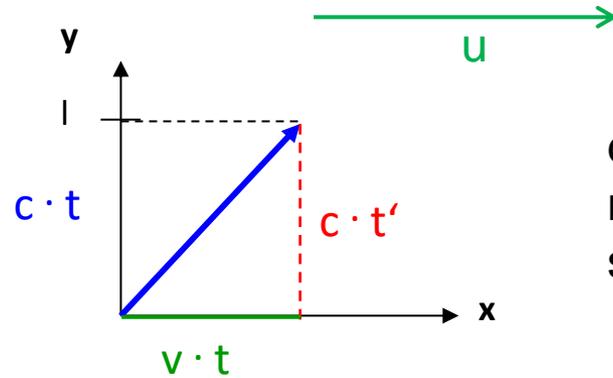
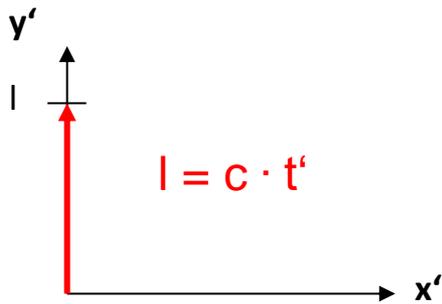
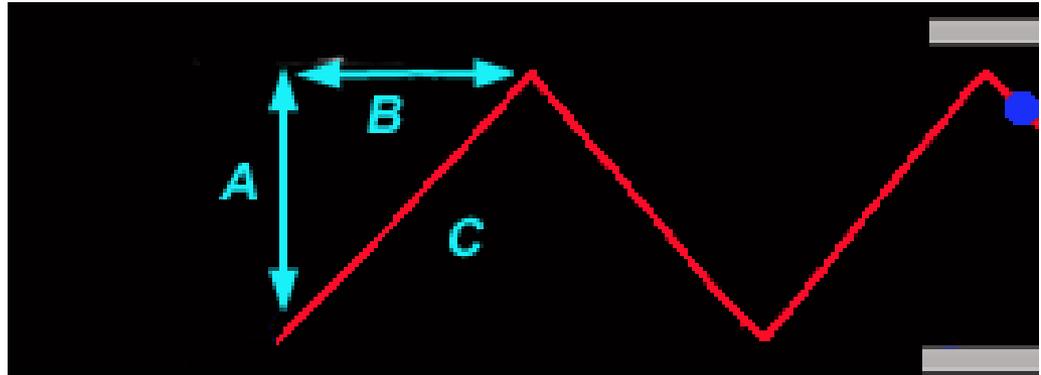
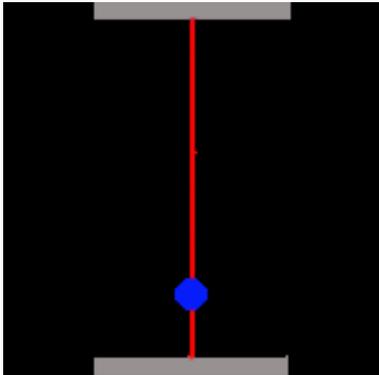


Lichtblitz durchläuft geradlinig die Strecke zwischen beiden Spiegeln ($\rightarrow t'$)

**(2) Beobachter, der die Uhr nach rechts an sich vorbei bewegen sieht:
(ruhendes System S)**



Lichtblitz durchläuft eine scheinbar größere Strecke ($\rightarrow t$)



da $c = \text{konstant}$
muss t größer
sein

$$(c \cdot t)^2 = (v \cdot t)^2 + (c \cdot t')^2$$

$$v \rightarrow c: \quad k > 1 \quad t > t'$$

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

Die Zeit im bewegten System läuft langsamer ab, sie wird gedehnt.

► Zeitdilatation

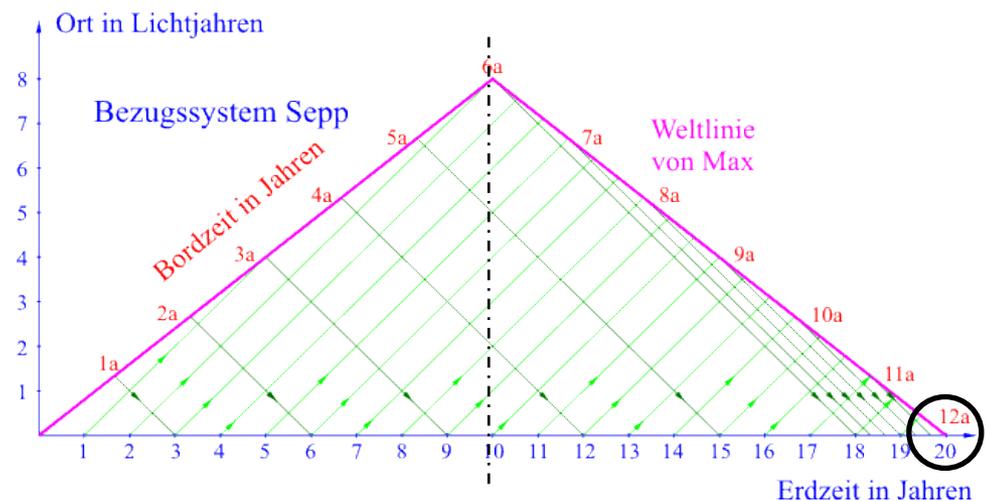
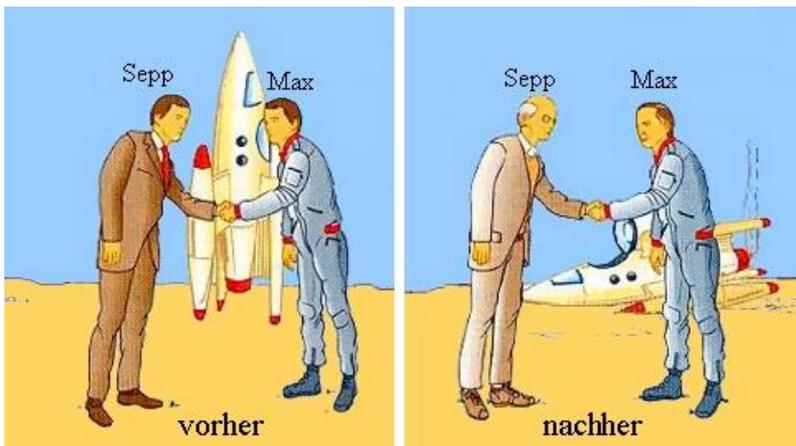
... bewegte Uhren gehen langsamer ...

Das Zwillingsparadoxon:

Gedankenexperiment:

Verbleibt von zwei gleichartigen Uhren eine in einem Inertialsystem in Ruhe, während man die zweite auf eine Reise mitnimmt und an deren Ende schließlich wieder an den Ort der ersten zurückbringt, so wird die zweite Uhr gegenüber der ersten nachgehen.

In der Zwillingsversion desselben Gedankenversuchs bedeutet das: Geht einer von zwei Zwillingen auf eine "Raumfahrt", so ist er nach seiner Rückkehr zur Erde jünger als sein zu Hause gebliebener Zwillingsbruder.



$$v = 0,8c \quad t_{\text{Sepp}} = 10a \quad \Delta t_{\text{ges}} = 8a$$

$$t_{\text{Max}} = 6a$$

Minkowski-Diagramm

Bestätigung der Zeitdilatation:

1971 startete ein Flugzeug eine Erdumrundung mit einer Cäsium-Atomuhr. Eine zweite gleiche Uhr blieb am Startort zurück.



Nach einer Erdumrundung und einer Flugzeit von 41,2 Stunden zeigte die bewegte Uhr 59ns weniger an.

► **Die Uhr an Bord ging langsamer.**