Dr. Jörg Noller
BA-Seminar: Was ist Zeit?
LMU München, WiSe 2018/19

Zusammenfassung 7. Sitzung, 27.11.2018

Einsteins Relativitätstheorie ist insofern philosophisch interessant, als sie fundamentale Größen wie Raumlänge (*s*), Zeit (*t*) und Geschwindigkeit (*v*) grundlegend neu perspektiviert, diese in ein neues Verhältnis zueinander setzt und gegen unsere alltäglichen Intuitionen profiliert: Nicht mehr ist nun die Geschwindigkeit eines Gegenstandes bis ins Unendliche steigerbar, sondern sie besitzt eine maximale Höhe von ca. 300.000 Kilometern pro Sekunde. Nicht mehr vergeht die Zeit überall gleich schnell, wie Newton mit seiner Theorie der absoluten Zeit postuliert hatte, sondern sie vergeht desto langsamer, je mehr wir uns der Lichtgeschwindigkeit annähern. Einsteins Grundeinsicht der Relativität von Raum und Zeit leitet sich von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ab. Entgegen der Annahme, dass sich weitere Geschwindigkeiten auf die Lichtgeschwindigkeit c addieren ließen, argumentiert Einstein, dass auch bewegte Lichtquellen immer Photonen mit derselben Lichtgeschwindigkeit aussenden. Ob eine Glühbirne bewegt wird oder nicht, spielt für die von ihr ausgehende Lichtgeschwindigkeit keine Rolle. Anders verhält es sich hingegen bei aus einem Düsenjäger abgefeuerten Raketen: Deren Geschwindigkeit addiert sich aus Sicht eines externen Beobachters zu derjenigen des Düsenjägers hinzu. Aus der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit folgt, dass in einem Raumschiff, welches sich mit konstanter Geschwindigkeit v geradeaus bewegt (einem „Inertialsystem"), ein nach oben gesendetes Lichtteilchen (Photon) von innen betrachtet eine geringere Strecke (hier: 4 Meter) zurücklegen muss als von außen betrachtet (hier: 5 Meter):

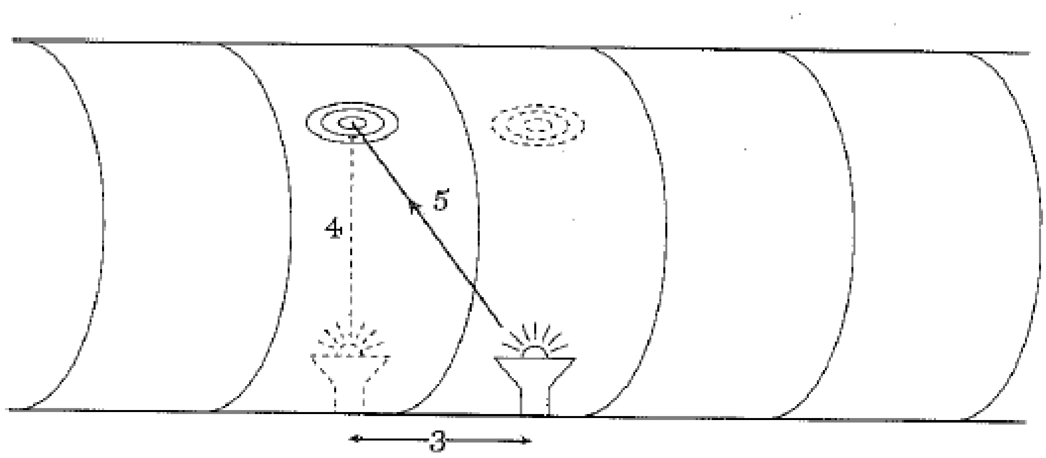
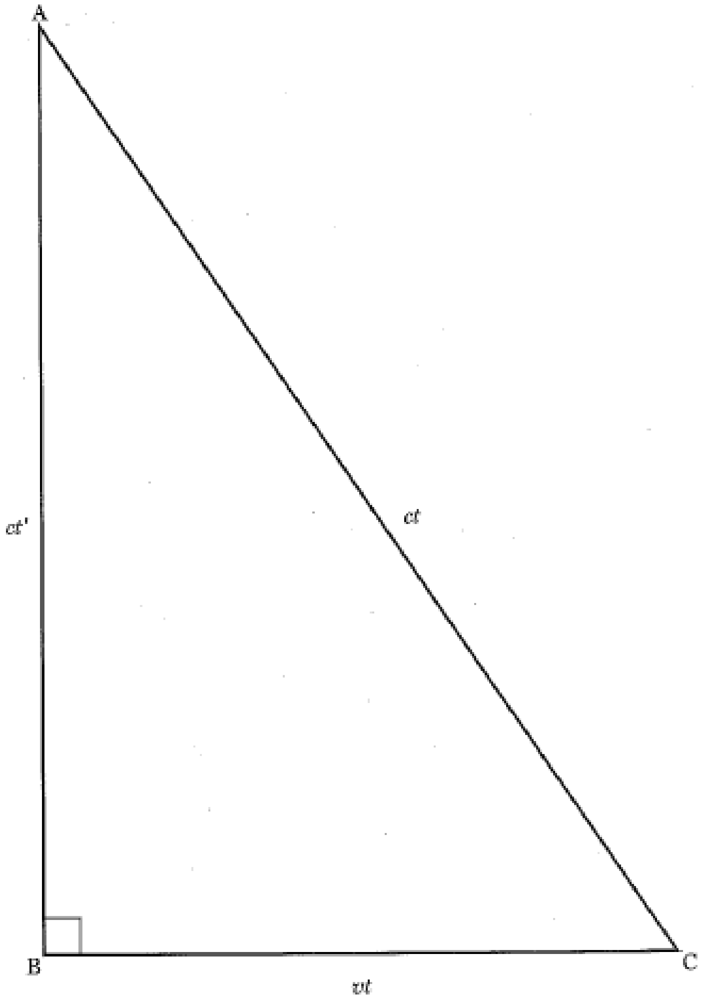


Abb. 3: Fliegt das Raumschiff über ihr vorbei, so bewegt sich das Ziel für die Person in der Raumflugkontrollstation auf der Erde in der Zeit, die der Lichtpuls für seine Reise braucht, vorwärts. Der Puls muss demnach eine diagonale Strecke durchlaufen

Quelle: Russell Stannard: Relativitätstheorien / Relativity. A Very Short Introduction. Oxford / New York: Oxford University Press, 2008.

Es ergibt sich damit für den *äußeren* Beobachter des Raumschiffes ein rechtwinkliges Streckendreieck, dessen Längen er mit Hilfe des Satzes von Pythagoras weiter berechnen kann, wobei die Strecke AC die von außen beobachtete Strecke ist, die das Lichtteilchen im Raumschiff zurückgelegt hat, bis es an der Decke (A) angekommen ist, während AB die von innen beobachtete zurückgelegte Strecke des Lichtteilchens ist.

Dr. Jörg Noller
BA-Seminar: Was ist Zeit?
LMU München, WiSe 2018/19



Gesucht wird nun in diesem Dreieck die Größe t‘, veranschaulicht durch die Strecke AB, also die Zeit, die im Raumschiff vergangen ist, während des Ereignisses eines sich von unten nach oben bewegenden Lichtteilchens mit der konstanten Lichtgeschwindigkeit c (v ist die Geschwindigkeit, mit dem sich das Raumschiff während des Photonenflugs nach links bewegt). Es ergibt sich nach dem Satz des Pythagoras folgende Auflösung:

$$
\begin{aligned}
\mathrm{AC}^2 &= \mathrm{AB}^2 + \mathrm{BC}^2 \\
\mathrm{AB}^2 &= \mathrm{AC}^2 - \mathrm{BC}^2 \\
c^2 t'^2 &= (c^2 - v^2) t^2 \\
t'^2 &= (1 - v^2/c^2) t^2 \\
t' &= t\sqrt{(1 - v^2/c^2)}
\end{aligned}
$$

Aus der letzten Gleichung kann Folgendes entnommen werden: Je mehr sich die Geschwindigkeit v des Raumschiffes der Lichtgeschwindigkeit c annähert, desto langsamer verläuft die Zeit in ihm gegenüber der äußeren Zeit des Beobachters (d.h. t‘ geht gegen 0), da der Ausdruck unter der Wurzel immer kleiner wird. Dieses Phänomen wird auch „Zeitdilation“ genannt. Ist die Geschwindigkeit des Raumschiffs dagegen relativ klein (geht v gegen 0), so geht der Ausdruck unter der Wurzel gegen 1, womit die Zeit t‘ im Raumschiff ungefähr der äußeren Zeit (t) entspricht. Doch selbst auf Langstreckenflügen um die Erde macht sich die Zeitdilation bemerkbar: So altert man etwa auf einem Überflug in Richtung Osten (also in Richtung der Erdbewegung) um ca. 40 Nanosekunden weniger als im Ruhen.