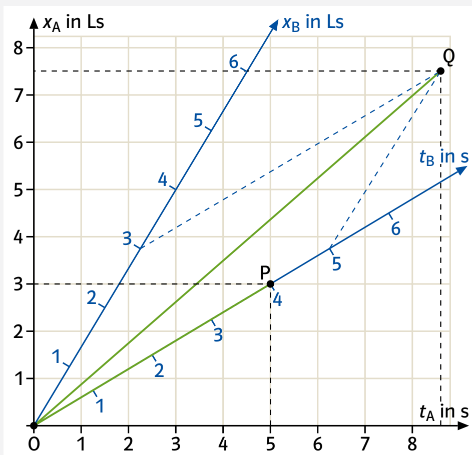
Methoden

Geschwindigkeitsaddition

Wenn jemand eine Rolltreppe hinaufsteigt, ist seine Geschwindigkeit gegenüber der Umgebung nach Galilei die Summe aus seiner Geschwindigkeit bezüglich der Rolltreppe und deren Geschwindigkeit bezüglich der Umgebung. Wenn die Geschwindigkeit sehr hoch wird, kann diese einfache Regel nicht gelten, weil sonst die Lichtgeschwindigkeit überschritten werden würde.
Diese Situation wird in einem Minkowski-Diagramm **B1** betrachtet. Dies führt zu einem Wert, der mit der Theorie verträglich ist.
Die Bestimmung einer Geschwindigkeit erfordert Längen- und Zeitmessungen. In der Relativitätstheorie sind beide vom Beobachter abhängig. Im Minkowski-Diagramm **B1** sind Längenkontraktion und Zeitdilatation berücksichtigt. An die Stelle der Formel $v_{CA} = v_{CB} + v_{BA}$ tritt die kompliziertere Formel

$$v_{CA} = \frac{v_{CB} + v_{BA}}{1 + \frac{v_{CB} \cdot v_{BA}}{c^2}}$$

B bewegt sich gegenüber A wie die Rolltreppe gegenüber der Umgebung.
C bewegt sich gegenüber B wie der Fußgänger gegenüber der Rolltreppe und auch gegenüber A.



B1 Geschwindigkeiten

Setzt man für v_{CB} und v_{BA} den Wert 0,6 c ein, so ergibt sich in guter Übereinstimmung mit dem Wert aus dem Diagramm **B1** $v_{CA} = 0{,}88\,c$:

A beobachtet B und registriert zwei Ereignisse O(0|0) und P(5|3) und bestimmt v_{BA}

$$v_{BA} = \frac{3\,\text{Ls} - 0\,\text{Ls}}{5\,\text{s} - 0\,\text{s}} = 0{,}6\,c$$

B beobachtet C und registriert zwei Ereignisse O(0|0) und Q(5|3) und bestimmt v_{CB}

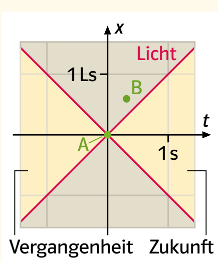
$$v_{CB} = \frac{3\,\text{Ls} - 0\,\text{Ls}}{5\,\text{s} - 0\,\text{s}} = 0{,}6\,c$$

Nach Galilei würde A für die Geschwindigkeit von C folgern: $v_{CA} = v_{CB} + v_{BA} = 1{,}2\,c$.
A beobachtet C und registriert zwei Ereignisse O(0|0) und Q(8,6|7,6) und bestimmt v_{CA}

$$v_{CA} = \frac{7{,}6\,\text{Ls} - 0\,\text{Ls}}{8{,}6\,\text{s} - 0\,\text{s}} = 0{,}88\,c$$

Exkurs

Vergangenheit und Zukunft



B2 Zwischen den Ereignissen A und B gibt es keinen kausalen Zusammenhang.

Δs^2 ist eine Verallgemeinerung des Euklid'schen Abstandsquadrats in die Geometrie des Minkowskiraumes.

Zeitpunkte der Vergangenheit werden mit $t < 0$, der Gegenwart mit $t = 0$ und der Zukunft mit $t > 0$ beschrieben. In einem Minkowski-Diagramm lässt sich jedes Ereignis als Punkt darstellen und jede Kurve beschreibt eine Folge von Ereignissen. Da die Lichtgeschwindigkeit die größtmögliche Geschwindigkeit ist, entsteht ein Winkelfeld (→ **B2**), das die möglichen Wechselwirkungen mit A abgrenzt. Das Ereignis A kann nur von Ereignissen aus dem Bereich „Vergangenheit" beeinflusst worden sein und seinerseits nur Ereignisse aus dem Bereich „Zukunft" beeinflussen. Solche Ereignisse nennt man kausal zusammenhängend. Für sie ist der Ausdruck $\Delta s^2 = (c \cdot \Delta t)^2 - (\Delta x)^2$ positiv oder null, letzteres, falls beide Ereignisse durch eine Weltlinie von Licht verbunden werden können. Das Ereignis B findet zwar später statt als A, es kann aber von A nicht beeinflusst werden. Man sagt, das Ereignis B liegt nicht in der Zukunft von A. Für solche Ereignisse ist Δs^2 negativ.

Es gibt dann auch stets Bezugssysteme, in denen B zeitlich vor A stattfindet oder A zeitlich vor B.
In Geschichten mit Zeitreisen wird nicht nur die zeitliche Abfolge von Ereignissen vertauscht, sondern auch deren kausale Reihenfolge: Man erscheint z. B. bereits vor seiner Geburt auf der Erde. Solche Zeitreisen sind nach der speziellen Relativitätstheorie nicht möglich. Die Relativität der Zeit kann zwar dazu führen, dass sich die zeitliche Reihenfolge zweier Ereignisse vertauscht, aber nur falls diese nicht kausal zusammenhängen. Es ist also nicht möglich, die Vorfahren vor der eigenen Geburt kennen zu lernen oder die Lottozahlen vor der Ziehung zu erfahren.

■ **A1** Betrachten Sie in verschiedenen Minkowski-Diagrammen für jeweils zwei Ereignisse den Ausdruck $\Delta s^2 = (c \cdot \Delta t)^2 - (\Delta x)^2$ im System A und vergleichen Sie mit den entsprechenden Ausdrücken in System B.