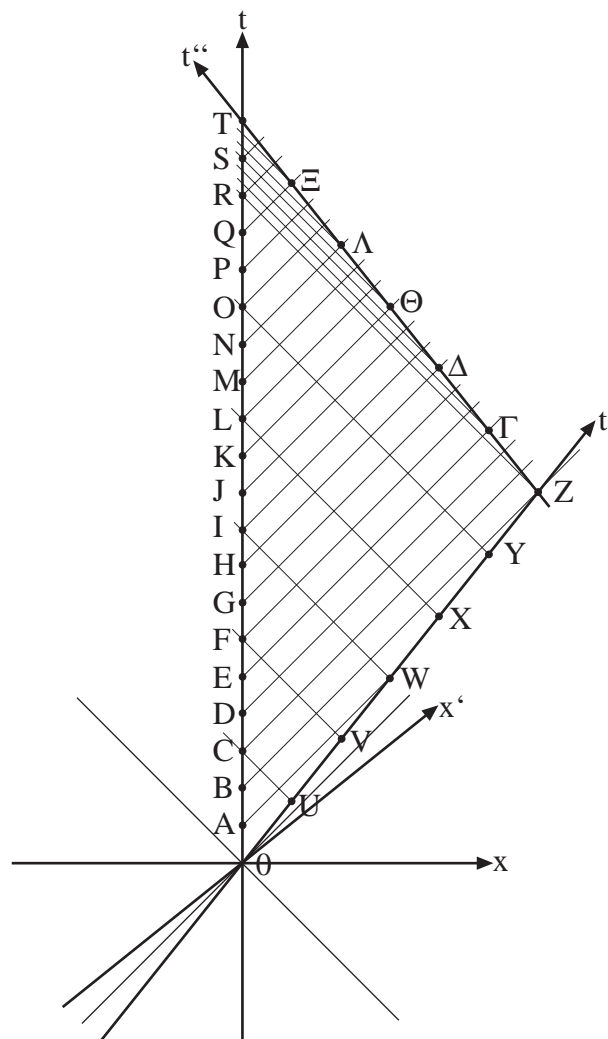


Das Zwillingsparadoxon

Oftmals wurde die Relativitätstheorie anhand behaupteter innerer Widersprüche angegriffen. Einer dieser scheinbaren Widersprüche ist das Zwillingsparadoxon. Von einem Paar eineiiger Zwillinge fliegt Zwilling 1 mit einer Rakete mit großer Geschwindigkeit von der Erde weg und kehrt nach einer gewissen Zeit mit derselben Geschwindigkeit in die andere Richtung zur Erde zurück. Zwilling 2 bleibt auf der Erde zurück. Da für den bewegten Zwilling 1 die Zeit langsamer vergeht als für 2, müsste 1 bei der Rückkehr jünger sein als 2. Nach dem Relativitätsprinzip könne man aber auch 1 als ruhend und 2 als bewegt ansehen, somit müsste bei der Rückkehr 2 jünger sein als 1, was ein offensichtlicher Widerspruch ist. Mithilfe des folgenden [Raumzeit-Diagramms](#) ist der scheinbare Widerspruch leicht aufgelöst.



Wir nehmen an, Zwilling 1 fliegt mit einer Rakete mit einer Geschwindigkeit von $0,8c$ von der Erde weg. Sobald für ihn sechs Jahre vergangen sind, steigt er in eine Rakete um, die mit einer Geschwindigkeit von $0,8c$ zur Erde zurückfliegt. Vor dem Abflug vereinbaren die beiden, sich nach jeweils einem Jahr ihrer Zeit eine Nachricht per Lichtsignal zukommen zu lassen. Beim Wiedersehen brauchen sie nur zählen, wie viele Lichtsignale sie ausgesendet bzw. empfangen haben um festzustellen, wie viel Zeit für jeden der beiden vergangen ist.

Die Zeitachse des Systems, in dem 2 ruht, ist die t -Achse. Die Zeitachse des Systems, in dem 1 beim Wegfliegen ruht, ist die t' -Achse. Die Zeitachse des Systems, in dem 1 beim Rückflug ruht, ist die t'' -Achse. Da die Beträge der Geschwindigkeiten beim Wegflug und bei der Rückkehr gleich sind, haben die Steigungen der t' - und der t'' -Achse denselben Betrag.

Zwischen den Ereignissen 0 und A, A und B, ... S und T liegt für Zwilling 2 jeweils ein Zeitintervall von einem Jahr. Zwischen den Ereignissen 0 und U, U und V, ... Ξ und T liegt für Zwilling 1 jeweils ein Zeitintervall von einem Jahr. Die Lage des Ereignisses U wird genauso konstruiert wie die Lage des Ereignisses D in [Zeitdilatation und Längenkontraktion](#).

Nach jeweils einem Jahr nach ihrer Uhr senden die Zwillinge dem jeweils anderen einen Lichtblitz. Die Weltlinien dieser Lichtblitze sind im Raumzeit-Diagramm Geraden mit einer Steigung vom Betrag 1. Zwilling 2 sendet seine Blitze nach rechts. Die Weltlinien dieser Blitze haben Steigung 1. Zwilling 1 sendet seine Blitze nach links. Die Weltlinien dieser Blitze haben Steigung -1 .

Jetzt braucht man nur noch zählen. Zwilling 2 sendet 20 Lichtblitze aus. Den 20. sendet er in dem Moment aus, in dem 1 zurückkehrt. Mit diesem letzten Lichtblitz hat Zwilling 1 20 Lichtblitze erhalten. Für Zwilling 2 sind somit 20 Jahre vergangen. Zwilling 1 sendet 12 Lichtblitze aus. Den 12. sendet er in dem Moment aus, in dem er zurückkehrt. Mit diesem letzten Lichtblitz hat Zwilling 2 12 Lichtblitze erhalten. Für Zwilling 1 sind somit 12 Jahre vergangen.

Auf dem Weg vom Ereignis 0 zum Ereignis T sind somit für Zwilling 2 20 Jahre vergangen, für Zwilling 1 nur 12. Zwilling 1 ist im Ereignis T um 8 Jahre jünger als Zwilling 2. Die Asymmetrie kommt daher, dass Zwilling 1 einmal das System wechseln muss, er muss umsteigen. Zwilling 2 muss das nicht tun.