

Raum und Zeit – Raumzeit

Die Relativitätstheorie beschreibt unsere Welt als eine vierdimensionale Raumzeit. Wie kann man sich das vorstellen?

Bekannt sind uns die drei Dimensionen des Raums, die durch ein einfaches Koordinatensystem mit den Achsen x, y und z dargestellt werden.

Die Zeit betrachten wir zwar ebenfalls als eine Dimension, allerdings als eigenständig und vom Raum getrennt.

Wie Zeit und Raum zur Raumzeit verschmolzen sind, können wir uns nicht vorstellen, und zwar deshalb, weil wir uns einfach 4 Dimensionen nicht vorstellen können. Um sie dennoch zu veranschaulichen, hat die Physik ein vereinfachtes Modell entwickelt. Dafür reduziert sie die drei Raumachsen auf eine Fläche. Anstelle des dreidimensionalen Raums betrachten wir nun eine zweidimensionale Ebene. Damit ist Platz für eine weitere Achse, die vierte Dimension, die das Vergehen der Zeit darstellt. Das klingt einfach, doch beschreibt man damit reale Vorgänge, bilden sich überraschende und neue Definitionen von ganz alltäglichen Begriffen.

Um z. B. die Bewegung eines Objekts zu beschreiben, zerlegt man ihren Ablauf in einzelne Momentaufnahmen. Damit kann nicht nur die Position im Raum, sondern auch die zeitliche Abfolge dargestellt werden. Die Phasen werden entsprechend ihrem Zeitpunkt auf der Zeitachse nach oben gehoben. Je später sie stattfinden, umso höher sind ihre Positionen.

Verbindet man die einzelnen Positionen miteinander, ergibt sich eine Linie, die so genannte Weltlinie. Der Winkel, in dem die Weltlinie aufsteigt, hängt von der Bewegungsgeschwindigkeit des Objekts ab. Jede Geschwindigkeit verursacht einen individuellen Neigungswinkel. Bewegt sich das Objekt schnell, so ist die Weltlinie flach. Bewegt es sich langsam, so ist die Weltlinie steil. Selbst ein ruhendes Objekt besitzt eine Weltlinie. Zwar ändert sich nicht sein Ort, aber seine Zeit verrinnt dennoch.

Jede Bewegung kann durch eine eigene Weltlinie dargestellt werden. Sie ist umso flacher, je schneller sich ein Objekt bewegt. Der Neigungswinkel ist allerdings begrenzt. Die höchste Geschwindigkeit, die überhaupt möglich ist, ist die des Lichts. Misst man die Zeit in Sekunden, und die Länge in Lichtsekunden, sind die Weltlinien der Photonen in einem Winkel von 45° geneigt. Die Weltlinien aller Photonen, die ein Ereignis aussendet, bilden einen Kegel, den so genannten Lichtkegel.

Da alle Objekte langsamer sind als das Licht, müssen deren Weltlinien steiler sein als 45° . Sie befinden sich deshalb immer innerhalb des Kegels. Eine Weltlinie, die den Kegel verlässt, würde Überlichtgeschwindigkeit darstellen. Und das ist nicht möglich.

Welche Bedeutung der Lichtkegel dafür hat, was wir von der Welt beobachten können, zeigt folgendes Beispiel:

Würde auf der Sonne eine Katastrophe passieren und sie plötzlich aufhören zu leuchten, wann würden wir das auf der Erde bemerken? Die Nachricht von der Katastrophe kann nicht schneller zur Erde gelangen als das Licht. Während der 8 Minuten, die die letzten Photonen von der Sonne zur Erde brauchen, sieht die Sonne für uns auf der Erde unverändert aus.

Betrachten wir das Ereignis in einem Raumzeit-Diagramm, so wird der Moment der Katastrophe auf der Sonne durch einen Punkt dargestellt, von dem aus die Weltlinien der Photonen einen Lichtkegel bilden. Solange der Lichtkegel nicht die Weltlinie der Erde schneidet, weiß man auf ihr nichts von dem Ereignis. Erst wenn der Lichtkegel über die Erde wächst, erfahren ihre Bewohner von der Katastrophe, die zu diesem Zeitpunkt allerdings bereits acht Minuten alt ist. Man beobachtet also ein bereits vergangenes Ereignis.

Das heißt: jeder Blick in die Welt ist ein Blick in die Vergangenheit. Auch die Nachricht eines Ereignisses in unmittelbarer Nähe benötigt eine sehr kurze aber doch gewisse Zeit, bis sie uns erreicht. Deutlich wird der Effekt erst bei großen Distanzen im Weltall.

Das Licht einer Galaxie ist oft viele Milliarden Jahre unterwegs, bevor es sich in unseren Teleskopen verfängt. Während dieser Zeit trägt es die Informationen über

das Himmelsobjekt, von dem es abgestrahlt wurde, mit sich. Von den Teleskopen eingefangen, offenbart sich uns so die Vergangenheit aller Himmelskörper im Universum. Je länger die Reise des Lichts gedauert hat, desto tiefer sehen wir in der Zeit zurück. Egal wohin wir blicken, wenn Licht von fernen Himmelskörpern über die Erde streift, zeigt es uns immer nur die Vergangenheit.

Durch diese Betrachtungsweise ergibt sich eine neue Definition von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Wenn ein Ereignis „E“ Signale aussendet, wie z. B. unsere Sonne, wenn sie verglüht, beeinflusst es damit seine Umwelt. Das Verglühen hat dramatische Auswirkungen auf die Erde, jedoch erst, wenn die Information dort ankommt, also acht Minuten später. Da die Ausbreitung der Signale auf die Lichtgeschwindigkeit begrenzt ist, können sie nur innerhalb des Zukunftslichtkegels etwas bewirken, dieser wird deshalb die Zukunft von „E“ genannt.

Umgekehrt kann das Ereignis „E“ auf der Sonne nur durch Signale beeinflusst werden, die vorher von einem anderen Ereignis ausgesandt wurden, z. B. von einem anderen Stern, der das Verglühen der Sonne auslöst. Weil auch diese Signale sich nicht schneller als das Licht bewegen, kommt die Ursache für die Katastrophe auf der Sonne aus ihrem Vergangenheitslichtkegel. Dieser wird demnach die Vergangenheit von „E“ genannt. Zukunft und Vergangenheit stehen also in Zusammenhang mit der Ausbreitung des Lichts.

Was aber ist die Gegenwart? Vermuten würde man, dass sich ein anderes Ereignis dann in der Gegenwart von „E“ befindet, wenn es auf seiner Weltlinie auf dem gleichen Zeitpunkt liegt wie „E“. Das würde allerdings eine absolute Zeit voraussetzen, die für alle gleich gilt, doch die gibt es nicht. Gegenwart ist für „E“ vielmehr alles, was sich außerhalb des Zukunftslichtkegels und des Vergangenheitslichtkegels befindet. Also der ganze Rest, egal, ob es in Bezug auf seine Zeitachse früher oder später stattfindet. So kann man sagen: die Definition von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft hängt mit der Beeinflussbarkeit zusammen. Aktiv beeinflussen heißt Zukunft, beeinflusst werden bedeutet Vergangenheit. Ist kein Einfluss möglich, dann spricht man von der Gegenwart.

Durch diese Einteilung wird der Raumzeit eine Kausalstruktur aufgeprägt. Sie ist vom Beobachter unabhängig und in diesem Sinn absolut.