



2. Licht – Raum - Zeit

Es sieht so aus, als würde Raum und Zeit unabhängig von mir existieren, absolut und objektiv. Ja, ohne diese absolute Raum-Zeit kann ich meine ganze Existenz gar nicht begreifen. Mein tägliches Leben findet in Raum und Zeit statt. So scheint es zumindest, aber ganz so kann es nicht sein.

Lichtsignale breiten sich auf eine Art und Weise aus, die nicht in das Schema einer absoluten, vom Beobachter unabhängigen Raum-Zeit passt. Schallsignale in der Luft oder auch Wasserwellen passen in so ein Schema, Lichtsignale verhalten sich aber völlig anders aus.

Schall- oder Wasserwellen breiten sich in einem Medium aus, der Luft oder dem Wasser. Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit bezieht sich auf das Medium. Sie haben eine Geschwindigkeit relativ zu diesem Medium. Jeder Beobachter kann diese Geschwindigkeit in Übereinstimmung mit anderen Beobachtern messen.

Der Ausbreitung von Lichtsignalen liegt kein Medium zugrunde! Ihre Geschwindigkeit bezieht sich auf den Beobachter, sie ist für alle gleich $c = 300000$ Kilometer pro Sekunde, unabhängig von deren eigenen Bewegung.

Signalausbreitung im Wasser

Wasserwellen

Anne steht am See und wirft einen Stein ins Wasser. Er löst eine Welle aus, die sich nach allen Richtungen gleich schnell um Anne herum ausbreitet. Bernd geht gerade an ihr vorbei und beobachtet den Vorgang. Die Welle vor ihm bewegt sich langsamer von ihm weg als die hinter ihm. Seine Geschwindigkeit relativ zum Wasser addiert sich mit der Wellengeschwindigkeit im Wasser. Anne ruht relativ zum Wasser und beobachtet die reine Bewegung der Wellen im Wasser.

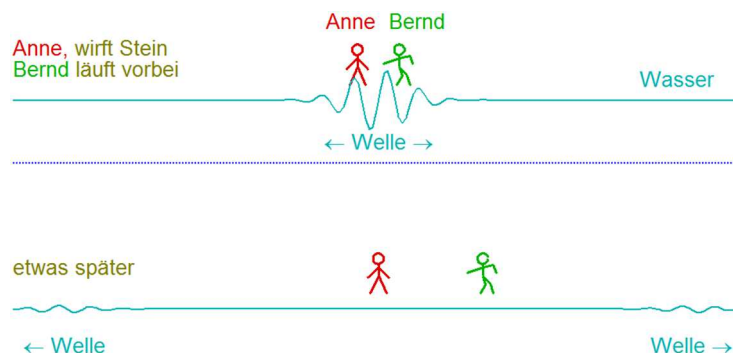


Abbildung 2-1 Anne wirft einen Stein ins Wasser, seine Welle breitet sich nach allen Richtungen gleich schnell aus. Bernd bewegt sich relativ zu Anne und zum Wasser. Die Welle in seiner Gebrichtung läuft langsamer von ihm weg, die hinter ihm schneller.

Von oben gesehen breitet sich die Wellenfront kreisförmig aus, Anne ist im Kreismittelpunkt, Bernd nicht.



Abbildung 2-2 Von oben gesehen breitet sich die Wellenfront kreisförmig aus, Anne ist im Kreismittelpunkt, Bernd bewegt sich vom Mittelpunkt weg.

Karten

Zur Darstellung der physikalischen Zusammenhänge zeichnet man Raum-Zeit-Diagramme. Zum Beispiel wählt man ein Koordinatensystem mit einer Orts- und einer Zeitachse und trägt sogenannte Weltpunkte ein. Anne ist zur Zeit t am Ort x und das wird als Punkt (x, t) im Diagramm festgehalten.

Zu jedem Koordinatensystem gehört auch immer ein Bezug. Abstände können sich zum Beispiel auf Anne beziehen oder auf Bernd. In Annes Bezugssystem bleibt Annes Ort immer $x = 0$ und Bernd's x -Koordinate ändert sich mit der Zeit. In Bernd's Bezugssystem bleibt sein Ort $x = 0$ und Annes x -Koordinate ändert sich.

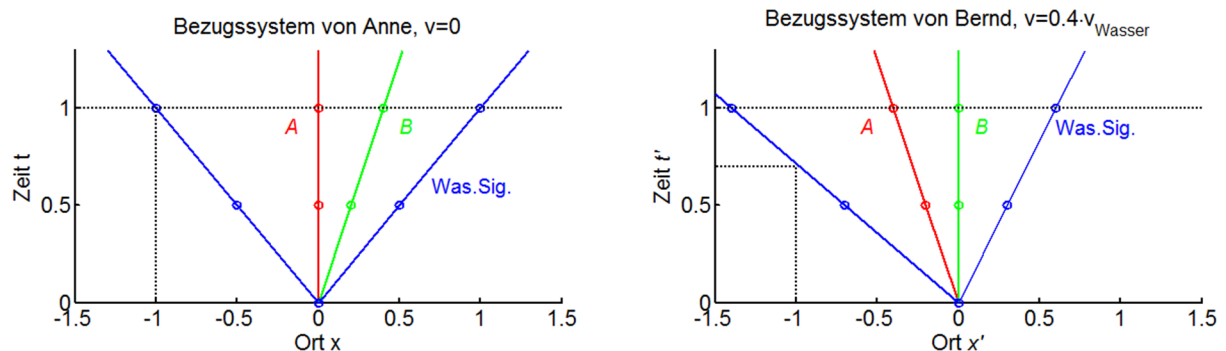


Abbildung 2-3 Weltpunkte und Weltlinien der Situation in Abbildung 2-1, links relativ zu Anne, rechts relativ zu Bernd. Die Relativabstände etwa zwischen Anne und Bernd oder zwischen Anne und einer Wellenfront sind in beiden Systemen jedoch gleich. Den beiden 'Karten' liegt eine absolute Raumzeit zugrunde, sie ist für alle Beobachter gleich.

Die Weltlinien und -punkte von Anne, Bernd und dem Wassersignal sind in den beiden Bezugssystemen verschieden. Abstände zwischen Anne, Bernd und dem Wassersignal sind zu gleichen Zeiten jedoch in beiden Systemen gleich. Es ist egal, welche 'Karte' man verwendet um Abstände abzulesen. Beiden Karten liegt eine absolute Raumzeit zugrunde, diese ist unabhängig vom jeweiligen Beobachter.

Galilei-Transformation

Die beiden Karten stehen in einem streng mathematischen Zusammenhang, der

$$\text{Galilei-Transformation: } \begin{cases} x' = x - vt \\ t' = t \end{cases} \quad (2-1)$$

$$\text{mit: } v = -\frac{dx'}{dt} = -\frac{dx}{dt} \quad (\text{Relativbewegung zum Medium})$$

Die Galilei-Transformation erlaubt die Umrechnung von Koordinaten von einem Bezugssystem zum andern. In Annes Bezugssystem ist $v = 0$, in Berns ist $v \neq 0$.

Ausbreitung von Lichtsignalen

Wasserwellen sind unmittelbar wahrnehmbar. Sichtbares Wasser bewegt sich auf und ab und diese Bewegung pflanzt sich nach allen Richtungen fort.

Ganz anders ist es bei Lichtsignalen. Wir haben keine Wahrnehmung der Lichtausbreitung, wenn wir das manchmal auch glauben, etwa wenn die letzten Sonnenstrahlen eines Sommertages durch einen kleinen Spalt in der Wolkendecke dringen. Dann sieht es wirklich so aus, als würde das Licht von der Sonne zur Erde strahlen. Was wir aber sehen, sind kleine Wassertröpfchen, die im Sonnenlicht glänzen. Wir haben die Vorstellung eines Lichtstrahles, die physikalische Grundlage des Phänomens ist aber von der Sonne beleuchtete Materie.

Wir haben noch andere Vorstellungen über die Lichtausbreitung, etwa die von elektromagnetischen Wellen, Teilchen, Photonen, Wirkungsquanten oder sonst was. Jede dieser Vorstellungen ist in einem bestimmten Zusammenhang sinnvoll und hilfreich. Optische Instrumente etwa konstruiert man am einfachsten mit Lichtstrahlen, ihr Auflösungsvermögen versteht man mit Wellen und für den quantenmechanischen Photoeffekt stellt man sich Licht als Photonen vor. Es wäre aber unsinnig zu streiten, ob sich Licht nun als Strahlen oder als Teilchen ausbreitet. Beides beschreibt sich ergänzende Aspekte der Lichtausbreitung.

Im Gegensatz zur Ausbreitung von Signalen im Wasser gibt es bei der Ausbreitung von Licht kein Medium. So etwas wie einen Äther gibt es nicht für Licht. Wir nehmen eine Lichtquelle wahr und die beleuchtete Materie – dazwischen nichts. Wir erkennen einen Kausalzusammenhang, also das Leuchten der Materie als Folge der Lichtquelle.

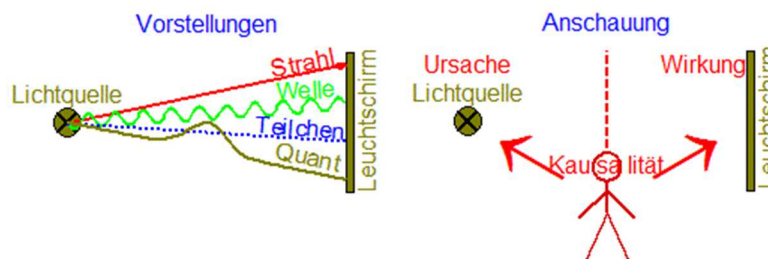


Abbildung 2-4 Vorstellungen über die Ausbreitung von Lichtsignalen und Anschauung. Wir haben einige, sich ergänzende Vorstellungen über die Lichtausbreitung. In unserer Anschauung erscheint eine Lichtquelle und beleuchtete Materie. Aus vielfältiger Erfahrung heraus erkennen wir einen Kausalzusammenhang.

Auf was bezieht sich dann die Ausbreitung der Lichtsignale. Sie könnte sich auf die Bewegung der Lichtquelle beziehen, tut sie aber nicht. Tatsächlich bezieht sie sich auf den Beobachter, und zwar unabhängig davon wie er sich bewegt. Jeder Beobachter misst, unabhängig von seinem eigenen Bewegungszustand, die sogenannte Lichtgeschwindigkeit $c \approx 300\,000 \text{ km/s}$. Das hat dramatische Konsequenzen, etwa, wenn sich Anne und Bernd relativ zueinander bewegen und dabei dasselbe Lichtsignal beobachten.

Versetzen wir uns in Annes Lage. Wir stellen fest, dass sich das Lichtsignal nach allen Seiten hin gleich schnell mit der Lichtgeschwindigkeit c ausbreitet. Wir sind mit Anne also im Mittelpunkt der Kugel, die das Lichtsignal um uns bildet und deren Radius mit $R = c \cdot t$ schnell anwächst. Bernd bewegt sich von uns aus gesehen aus dem Kreismittelpunkt heraus. Diese Situation entspricht genau der bei Wasserwellen.

Ganz anders ist es aber, wenn wir uns in die Situation von Bernd versetzen. Auch hier stellen wir fest, dass sich das Lichtsignal in alle Richtungen gleich schnell mit der Lichtgeschwindigkeit c ausbreitet, und Anne bewegt sich aus dem Kreiszentrum heraus.

In Bernds Lage stellt sich also die Situation ganz anders dar als bei den Wasserwellen. Und diese Lage ist mit einem absoluten, allen Beobachtern gemeinsamen Raum nicht verträglich. In einem absoluten Raum hat eine Kugel genau einen Mittelpunkt. Befinden sich zwei Beobachter in diesem Mittelpunkt, so befinden sie sich an einem gemeinsamen Ort. Sie können sich dabei nicht auch noch voneinander entfernen.

Dies kann nur eins bedeuten. Jeder der Beobachter, hier also Annen und Bernd, erlebt die Welt in seinem eigenen, individuellen Raum und in seiner eigenen, individuellen Zeit. Raum und Zeit sind die Grundlagen unserer bewussten Welterfahrung und diese ist individuell! Raum und Zeit existieren nur relativ zum Beobachter, sie gehören zu ihm, jeder hat seinen eigenen Raum und seine eigene Zeit. Wir haben das Gefühl, in einem absoluten, gemeinsamen Raum zu existieren und eine absolute Zeit zu erleben. Doch das ist eine Illusion.



Abbildung 2-5 Oben erzeugen Anne und Bernd gemeinsam ein Lichtsignal, das sich für jeden der Beiden nach alle Seiten hin mit gleicher Geschwindigkeit $c=300.000\text{km/s}$ ausbreitet. Unten findet sich jeder im Zentrum einer vom Lichtsignal gebildeten Kugel, obwohl sich die beiden voneinander entfernen. Dies ist in einem gemeinsamen Raum nicht möglich.

Karten

Genau wie bei Wasserwellen kann man Weltpunkte von Anne, Bernd und dem Lichtsignal in Koordinatensysteme eintragen. Tut Anne das, so entsteht eine Karte, die der obigen für Wasserwellen entspricht - nur die Skalen sind etwas anders. Während die Wasserwelle nach einer Sekunde vielleicht einen guten Meter zurückgelegt hat, sind es beim Licht 300.000 Kilometer.

In Bernds Licht-Karte gibt es einen wesentlichen Unterschied zur Wasser-Karte. Während in der Wasserkarte die Weltlinien der Welle unsymmetrisch um Bernds Weltlinie verlaufen, sind sie nun symmetrisch und entsprechen genau denen in Annes Karte. Das Lichtsignal breitet sich in alle Richtungen gleich schnell aus und daher sind die Weltlinien im $x-t$ -Diagramm symmetrisch um Bernds Weltlinie.

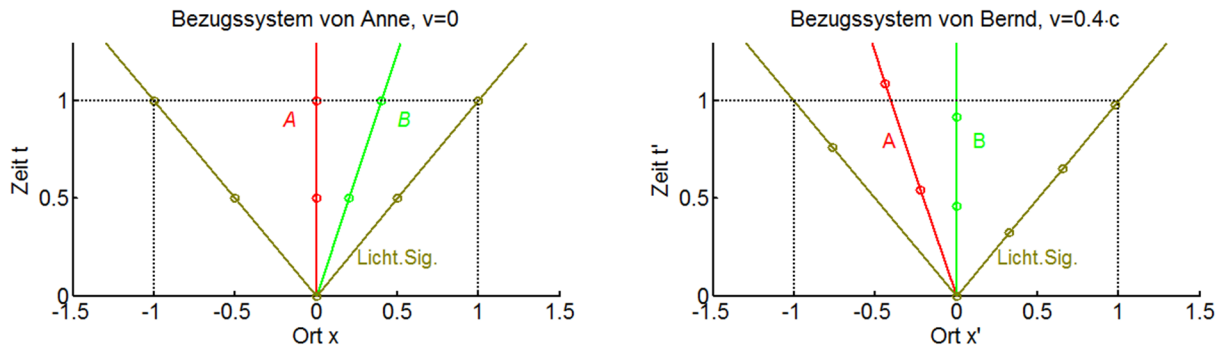


Abbildung 2-6 Weltpunkte und Weltlinien der Situation in Abbildung 2-5, links relativ zu Anne, rechts relativ zu Bernd. Die Relativabstände, etwa zwischen Anne und Bernd oder zwischen Anne und einer Wellenfront, sind in beiden Systemen verschieden. Auch die Bedeutung von Gleichzeitigkeit ist aufgehoben. Den beiden 'Karten' liegen relative Raumzeiten zugrunde, sie sind für jeden Beobachter anders.

Lorentz-Transformation

Zwischen Annes und Bernds Licht-Karten gibt es wieder eine strenge mathematische Beziehung, die

$$\text{Lorentz - Transformation : } \begin{cases} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \\ t' = \frac{t - xv / c}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \end{cases} \quad (2-2)$$

Dabei ist v die Relativgeschwindigkeit der beiden Bezugssysteme und c ist die Lichtgeschwindigkeit. Die Transformation gibt die Koordinaten (x', t') im bewegten Bezugssystem an für den Weltpunkt (x, t) im ruhenden System.

Die Lorentz-Transformation beruht ganz allein darauf, dass die Lichtausbreitung in allen Bezugssystemen gleich c ist¹. Sie bildet die Weltpunkte des Lichtsignals so ab, dass der Öffnungswinkel der Lichtlinien in allen Systemen gleich ist. Dies ist Abbildung 2-6 zu erkennen. Die Weltpunkte auf den Lichtlinien sind jedoch räumlich und zeitlich verschoben, die Bedeutung von Gleichzeitigkeit ist aufgehoben.

¹ Siehe 'Theorie 02'

Rechenbeispiel

$$\begin{array}{ll}
\text{Licht-Weltpunkt:} & \begin{cases} x = 1 \text{ [Raumeinheit]} \\ t = 1 \text{ [Zeiteinheit]} \end{cases} \quad (2-3) \\
\text{Relativgeschwindigkeit:} & v = 0.4 \\
\text{Lichtgeschwindigkeit:} & c = 1 \\
\text{Lorentz - Transformation :} & \begin{cases} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{1 - 0.4}{\sqrt{1 - 0.4^2}} \cong \frac{0.6}{0.9} = \frac{2}{3} \\ t' = \frac{t - xv/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{1 - 0.4}{\sqrt{1 - 0.4^2}} \cong \frac{0.6}{0.9} = \frac{2}{3} \end{cases} \\
\text{Steigung der Lichtlinie:} & \frac{t}{x} = \frac{1}{1} = \frac{\frac{2}{3}}{\frac{2}{3}} = \frac{t'}{x'}
\end{array}$$

Lichtuhren und Zwillingsparadoxon

Die Lorentz-Transformation verzerrt bei der Abbildung von Weltpunkten die räumlichen und zeitlichen Abstände. Damit gehen Uhren in bewegten Bezugssystemen anders als in ruhenden. Besonders deutlich wird das, wenn man als Zeitmaß den Lauf eines Lichtstrahls zwischen zwei Spiegeln wählt. Das führt uns zu Lichtuhren. Eine Zeiteinheit ist dann die Zeit, die das Lichtsignal von einem Spiegel zum andern braucht.

Um den Zeitablauf in einem bewegten Bezugssystem zu messen, brauchen wir drei Lichtuhren. Jede besteht aus zwei Spiegeln mit festem Abstand, zwischen denen ein Lichtstrahl reflektiert wird. In unserem, dem ruhenden System haben wir zwei Lichtuhren A und B in einem bestimmten Abstand, sagen wir zwei Längeneinheiten, und die dritte Lichtuhr C bewegt sich gleichförmig mit hoher Geschwindigkeit, genauer mit halber Lichtgeschwindigkeit, von der ersten Lichtuhr zur zweiten.

Zu Beginn des Experiments sind alle drei Lichtuhren synchronisiert. D.h. der Lichtstrahl startet gerade am jeweils linken Spiegel hin zum rechten. Die Lichtuhren A und C befinden sich am selben Ort.

Nach vier Zeiteinheiten hat sich die Lichtuhr C vom Ort der Lichtuhr A zu B bewegt. A und B gehen natürlich immer noch synchron, sie bewegen sich ja nicht relativ zueinander. Lichtuhr C geht jedoch nach.

Um das zu sehen, müssen wir mit der Lorentz-Transformation in (2-2) die Weltpunkte der ruhenden Uhr A ins Bezugssystem von C transformieren. Wie wir in Abbildung 2-10 sehen, ändert sich dabei die Steigung des Lichtsignals nicht. Wir lesen ab, dass C im Vergleich zu B etwa eine Zeiteinheit nachgeht.

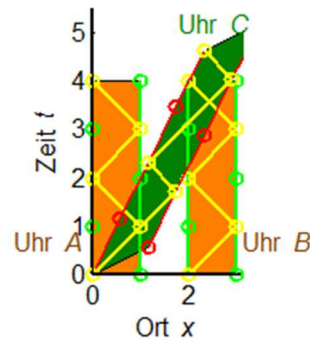


Abbildung 2-7 Vergleich von ruhenden und bewegten Lichtuhren. Zur Zeit $t=0$ sind alle drei Uhren synchronisiert. C bewegt sich von A nach B. Verfolgt man die Lichtsignale, so findet man, dass nach 4 Zeiteinheiten C etwa eine Zeiteinheit im Vergleich zu B nachgeht.

Etwas anschaulicher, wenn auch unrealistischer, kann diese sogenannte Zeitdilatation mit Hilfe der beiden Zwillinge veranschaulicht werden, von denen sich einer auf kosmische Reise begibt. Er entfernt sich mit halber Lichtgeschwindigkeit von seinem Bruder und kehrt nach einer halben Längeneinheit wieder um. Die Lorentz-Transformation erlaubt einen Vergleich der Uhren in den jeweiligen Ruhesystemen. Während bis zur Umkehr des Reisenden im Ruhesystem des zuhause Gebliebenen eine Zeiteinheit vergeht, vergeht im Ruhesystem des Reisenden nur etwa 0.8 Zeiteinheiten.

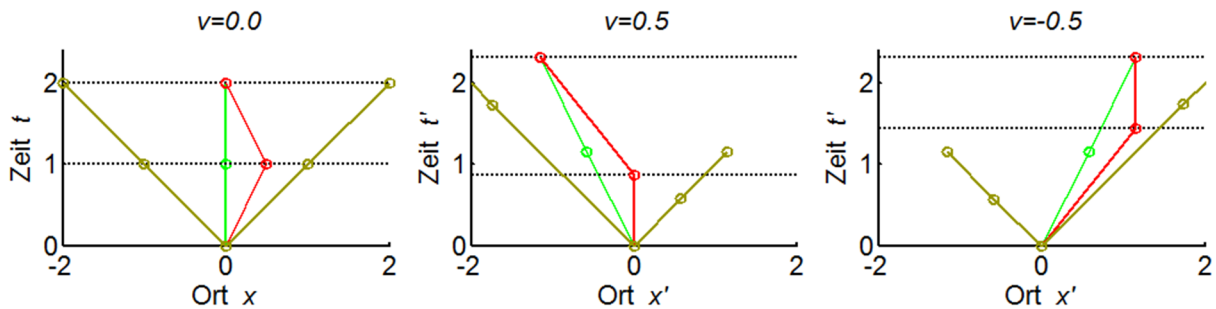


Abbildung 2-8 Zwillingsparadoxon. Die rote Linie beschreibt die Weltlinie eines Zwillings, der sich mit halber Geschwindigkeit von seinem Bruder (grüne Weltlinie) entfernt und dann wieder zurückkehrt. Wegen seiner hohen Geschwindigkeit tickt seine Lebensuhr im Vergleich zum Zurückgebliebenen langsamer. Anstelle der 2 Zeiteinheiten seines Bruders altert er nur um etwa 2 mal 0.8 Zeiteinheiten. Dies liest man im jeweiligen Ruhesystem ab.

Die Natur des Lichts

Lichtphänomene

Wenn ich wissen will, was Wasser ist, betrachte ich am besten seine klare Farbe, spüre seine Nässe und höre wie es plätschert. So werde ich mir klar über das, was Wasser ist. Beim Licht geht das nicht. Ich kann Licht weder sehen, spüren noch hören. Wasser ist Materie, Licht nicht.

Ich kann erleben, wie sich die Dämmerung früh am Morgen langsam hebt, vielleicht an einem schönen Sommertag in der Natur. Berge, Bäume und Wiesen zeichnen sich immer mehr ab. Es wird langsam hell, die Welt wird wahrnehmbar und das Leben erwacht. Überall zwitschern Vögel, die ersten Autos brausen vorbei, da und dort ertönt eine Stimme.

Im Licht werden Weltinhalte wahrnehmbar und es scheint, als würde das Licht die Welt mit Leben erfüllen.

Das Licht der Sonnen spüre ich deutlich auf meiner Haut. Es kann mich mit Wärme und Wohlbehagen erfüllen, aber auch meine Haut verbrennen, mir den Schweiß auf die Stirn treiben oder gar einen Sonnenstich auslösen.

Bei Licht denke ich zunächst an die äußere Welt, an dingliche Weltinhalte, die ich im Licht der Sonne oder einer Lampe sehe.

Aber dasselbe Phänomen erlebe ich auch innerlich. Ich erlebe Geistesblitze, bin manchmal vielleicht geistig umnachtet oder gar hellseherisch. Erinnerungsbilder werden langsam klar und deutlich, etwas dämmert mir. Ein Gefühl der Zuneigung oder des Zorns schläft langsam ein wie das letzte Abendrot in der Dämmerung.

Physik des Lichts

Wie schon erwähnt, etwa in Abbildung 2-4, gibt es viele physikalische Modelle für Licht. In der Elektrodynamik spielt es eine wesentliche Rolle. Dort wird es als Wirkung elektrischer Ladungen behandelt, oder besser als Wechselwirkung zwischen elektrischen Ladungen.

Man kann den Formalismus begründen, indem man die Reproduzierbarkeit oder Kontextunabhängigkeit von Impulsänderungen betrachtet². Die Wirkung der elektrischen Ladungen aufeinander ändert ihren Bewegungs- bzw. Impulszustand, und das muss frei sein von jeglicher Willkür. Unter gleichen Umständen muss diese Änderung immer und überall gleich sein und das für jeden Beobachter. Sonst sind Lichtphänomene nicht erkennbar oder bewusstseinsfähig. Aus dieser Forderung folgen alle Gesetze der Elektrodynamik zwingend.

So folgt auch, dass schwingende elektrische Ladungen ihre Schwingungen auf andere elektrische Ladungen übertragen. Wenn wir das Licht der Sonne auf unserer Haut spüren, dann ist das im Rahmen der Elektrodynamik so, weil die elektrischen Ladungen im Sonneninneren ihre Schwingung auf die Ladungen in unserer Haut übertragen, über das sogenannte elektromagnetische Feld oder Lichtwellen.

In unserem klassischen Welterleben ist die Sonne als Himmelskörper ein entferntes Objekt, und wir Menschen auf der Erde sind andere Objekte, getrennte und unabhängig voneinander. Das Licht stelle eine Verbindung her zwischen uns und der Sonne. Die Ladungen in unserem Auge oder unserer Haut schwingen im Rhythmus der Ladungen der Sonne. Licht ist so das Band zwischen den Exzerpten, die unser Bewusstsein bildet. In diesem Sinne hat Licht viel gemein mit Liebe.

Genesis

Die Bibel stellt das Licht an vorderste Stelle der Schöpfung. In 1. Moses 1 heißt es:

¹ Am Anfang schuf Gott Himmel und Erde. (2-4)

² Und die Erde war wüst und leer, und es war finster auf der Tiefe;
und der Geist Gottes schwebte auf dem Wasser.

³ Und Gott sprach: Es werde Licht! Und es ward Licht.

⁴ Und Gott sah, dass das Licht gut war.
Da schied Gott das Licht von der Finsternis

⁵ und nannte das Licht Tag und die Finsternis Nacht.
Da ward aus Abend und Morgen der erste Tag.

² Siehe Theorie #

Bemerkenswert ist, dass hier Licht erst geschaffen und dann von der Finsternis getrennt wurde. Durch Trennung von Licht und Finsternis entsteht Abend und Morgen. Dies ist eine erste Beschreibung von Zeit.

Die Natur des Raumes

Gewahrsein von Raum

Raum ist mir etwas sehr Selbstverständliches. Alles erscheint mir im Raum. Selbst Gedanken ordnet ich den Raum im Kopf zu und Gefühlen den im Herzen oder im Bauch. Aber natürlich ist Raum nichts Greifbares, nichts Dingliches, wenn es manchmal auch so scheint.

Raum als Ordnung

Ein leeres Papierblatt ist völlig strukturlos. Relationen wie oben und unten, links und rechts, hinten und vorne machen keinen Sinn. Sobald ich das Blatt jedoch durch Linien aufteile, wird das anders. Es entsteht ein links und rechts, oder ein oben und unten, oder ein hinten und vorne.



Abbildung 2-9 *Linien auf einem leeren Blatt schaffen räumliche Ordnungsstrukturen wie links-rechts, oben-unten und hinten-vorne*

Die Objektivierung des Raumes

Raum kann als Ordnungsstruktur aufgefasst und mathematische behandelt werden, als Ordnung des nebeneinander seins. Ist A neben B und B neben C , dann ist A auch neben C . So kommt man zu mathematischen Verknüpfungen und zu Gruppeneigenschaften. Man kann auch ein Objekt als Maßstab verwenden und damit die Entfernung zwischen anderen Objekten messen. So kommt man zu Koordinatensystemen.

In ein Koordinatensystem trägt man die räumlichen Beziehungen zwischen mehreren Objekten ein und erhält eine sogenannte Karte, zum Beispiel eine Landkarte. Es ist ein Bild räumlicher Beziehungen. Dieses Bild ist ein Ding. Es besteht aus Papier oder einem Computerbildschirm, ist greifbar und für alle Beobachter gleich. Die räumlichen Beziehungen wurden so objektiviert.

Innere Karten

Auch unser Bewusstsein erstelle solche Karten, in der Regel ohne dass wir das merken. Wenn ich mir jedoch zum Beispiel überlege, wie ich von meinem momentanen Standort zum nächsten Bäcker komme, dann taucht vor meinem inneren Auge ganz spontan eine Karte auf und ein Weg. Diese Karte ist nicht so stofflich und klar wie die Landkarte in meiner Tasche, aber irgendwie vermittelt sie doch den Eindruck, dass es da draußen auf den Straßen objektive räumliche Beziehungen gibt. Ich projiziere einen inneren Bewusstseinsraum hinaus in die äußere Welt. So entsteht wohl der Eindruck eines objektiven Raumes. Nur - in diesen passt das Verhalten der Lichtsignale eben gar nicht.

Wenn ich durch ein Fernglas schaue, ordne ich das Gesehene ganz unbewusst in das Bild der Welt ein, das ich mir ohne Fernglas schon gemacht habe. Ich sehe einfach ein paar Details genauer. In dem Film 'Die Götter müssen verrückt sein' von Jaymie Uys schaut der Buschmann Xixo durch ein Fernglas und freut sich kindlich. Er fragt, wie die vielen kleinen Menschen in das Rohr kommen. Das wirkt sehr komisch. Xixo erlebt seine Umwelt noch viel unmittelbarer als wir das heute tun.

Optische Täuschungen

Das Bewusstsein arbeitet unbewusst. Es isoliert Weltinhalte und stellt sie in einen räumlichen Zusammenhang. Julian Jaynes sagt, es exzerptiert und spatialisiert. In der Regel merken wir nichts davon. Das was bei diesem Prozess heraus kommt, ist für uns die Welt.

Ich habe acht Linien strahlenförmig angeordnet. Wenn ich die Linien betrachte, sehe ich nach kurzer Zeit klar und deutlich einen Kreis, der den Bereich innerhalb der Linien abhebt vom Rest. Es entsteht ein Innen und ein Außen, eine räumliche Struktur. Ich habe nur die Linien gezeichnet, keinen Kreis, da bin ich mir sicher. Aber er ist da, der Kreis, klar und deutlich. Er erscheint in meinem Bewusstsein. Ich erlebe, wie mein Bewusstsein räumliche Strukturen schafft.

Ein anderes Beispiel ist die Schlange, die sich um einen Stab windet. Ich erkenne eine räumliche Struktur, die Schlange, und einen Stab. Gezeichnet habe ich jedoch zwei Winkel.



Abbildung 2-10 Optische Täuschungen – Links entsteht eine deutliche Trennlinie zwischen Innen und Außen, rechts windet sich eine 3D-Schlange um einen Stab. In der Abbildung gibt es jedoch weder einen inneren Kreis noch einen Stab noch drei Dimensionen.

Entwicklung des Raumerlebens

Unser räumliches Bewusstsein hat sich mit der Zeit entwickelt. Das gilt für die Menschheitsgeschichte insgesamt, und für jedes Individuum. Die Entwicklung der Menschheit wiederholt sich während der Kindheitsphase. Das kann auf uns Erwachsene manchmal recht lustig wirken.

Ein Kind im entsprechenden Alter will sich verstecken. Es genügt ihm, dass seine Augen hinter dem Vorhang sind. Für das Kind verschwinden dann die Erwachsenen und somit ist es auch selber für die Erwachsenen verschwunden. Wenn ich meinen Kopf hinter einen Vorhang verstecke, habe ich immer noch das Bild des Zimmers in mir mit mir und mit meinem Kopf hinterm Vorhang. Mir ist klar, dass die andern mich noch sehen können. Mein Raumerleben ist ein völlig anderes als das des Kindes.

Ein kleines Kind sieht eine Sonne am Abend untergehen und eine am Morgen aufgehen. Es muss sehr viele Sonnen geben, so dass jeden Morgen eine neue aufgehen kann. Die Vorstellung, dass ein und dieselbe Sonne als Folge der Erddrehung auf und untergeht, steht einem Kind zunächst nicht zur Verfügung.

Es gibt noch viele andere Beispiele, die Einblicke in die Entwicklung unseres Raumerlebens geben, etwa die Entwicklung der kindlichen Sprache oder die Architektur.

Psychische Dimension des Raumes:

Raum hat viele psychische Funktionen. Wenn wir uns schämen, können wir uns im Raum verstecken. Das war das erste, was Eva im Paradies getan hat, nachdem sie vom Baum der Erkenntnis gegessen hatte. Sie fühlte sich nackt und versteckte sich vor Gott.

Wir projizieren dunkler Aspekte unserer Person nach außen, gerne auf andere. Das was wir an uns nicht mögen, was nicht zu unserem Selbstbild passt, sehen wir gerne in anderen. Dort können wir es verurteilen, ohne uns weh zu tun. Wir stellen unseren Müll vor die Tür und sind ihn damit los, egal ob die Müllabfuhr ihn mitnimmt oder nicht.

Wir fliehen vor einem inneren Schmerz, vor einem Gefühl der Leere oder der Einsamkeit hinein in die äußere Welt. Besonders auffällig ist dies bei Menschen mit posttraumatischen Belastungsstörungen. Flashbacks, also aufblitzende Erinnerungen an das traumatische Erleben, lässt sie, wie man so schön sagt, aus der Haut fahren. Es fällt ihnen schwer, zu sich zu kommen, zu den eigenen Gefühlen, Gedanken, Erinnerungen oder Vorstellungen.

Die Rolle des Raums in der Physik

Die mathematische Beschreibung räumlicher und zeitlicher Beziehungen geht der Physik voraus. Sie ist allererste Grundlage, ohne diese geht es nicht. Im zweiten Schritt kommt die Dynamik hinzu: wie ändern Kräfte die räumliche Beziehung von Körpern.

In der klassischen Physik kommt man so zu Bahnkurven, auf denen sich die Körper bewegen. Die Bewegung findet relativ zu einem Koordinatensprung statt.

In der Quantenmechanik werden die räumlichen Strukturen aufgeweicht. Das ist eine Konsequenz davon, dass man den Inhalt und die Dynamik zu einer Wellenfunktion vereinheitlicht. Die Position des Inhaltes, etwa eines Elektrons, ist keine eigenständige Variable mehr, sie wird unscharf.

Genesis

Die Erschaffung des Raumes durch Teilung ist eines der ersten Themen der ältesten Schriftstücke unserer Kultur. In 1. Moses 1 - Die Schöpfung – steht:

- ⁶ Und Gott sprach: Es werde eine Feste zwischen den Wassern, (2-5
)
die da scheidet zwischen den Wassern.
- ⁷ Da machte Gott die Feste und schied das Wasser unter der Feste
von dem Wasser über der Feste. Und es geschah so.
- ⁸ Und Gott nannte die Feste Himmel. Da ward aus Abend und Morgen der zweite Tag.
- ⁹ Und Gott sprach: Es sammle sich das Wasser unter dem Himmel an besondere Orte,
dass man das Trockene sehe. Und es geschah so.
- ¹⁰ Und Gott nannte das Trockene Erde, und die Sammlung der Wasser nannte er Meer.

Das Verstecken aus Scham ist nach 1. Moses 3 (Der Sündenfall) das erste, was Menschen nach dem Erwerb der Gabe des Erkennens und Wissens getan haben.

- ⁶ Und die Frau sah, dass von dem Baum gut zu essen wäre
und dass er eine Lust für die Augen wäre und verlockend,
weil er klug machte.
Und sie nahm von der Frucht und aß und gab ihrem Mann,
der bei ihr war, auch davon und er aß. (2-6)
- ⁷ Da wurden ihnen beiden die Augen aufgetan
und sie wurden gewahr, dass sie nackt waren,
und flochten Feigenblätter zusammen und machten sich Schurze.
- ⁸ Und sie hörten Gott den HERRN, wie er im Garten ging,
als der Tag kühl geworden war.
Und Adam versteckte sich mit seiner Frau
vor dem Angesicht Gottes des HERRN unter den Bäumen im Garten.

Die Natur der Zeit

Gewahrsein von Zeit

In meinem Welterleben finde ich mich in einer immerwährenden Gegenwart, in der sich die Weltinhalte verändern. Die Vergangenheit nehme ich nicht wahr. Ich erinnere mich an sie in inneren Bildern. Ich weiß, dass ich vor kurzer Zeit diesen Raum betreten und was ich davor gemacht habe. Gegenwart existiert in meinem Gewahrsein, Vergangenheit in meinem Bewusstsein.

Genauso ist es mit der Zukunft. Ich stelle mir vor, was ich nachher tue, wenn ich hier fertig bin, wenn ich das Zimmer wieder verlasse. Ich weiß, dass es heute Abend dunkel wird und morgen Früh wieder hell.

Zeit als Ordnungsstruktur

In inneren Bildern sehe ich die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft vor mir. Zeit ist genauso eine Ordnungsstruktur wie der Raum. Anstelle des nebeneinander steht hier das nacheinander: Wenn A nach B und B nach C kommt, dann kommt auch A nach C . In meiner Vorstellung und auch in Diagrammen sehe ich aber die einzelnen Abschnitte der Zeitsequenzen, A-B-C nebeneinander und nicht nacheinander. Im Bewusstsein erscheint mir Zeit wie Raum.

Quantifizierung und Objektivierung

Die Quantifizierung der Zeit erfolgt wie beim Raum durch einen Maßstab, hier also eine Uhr. Zeitabläufe können verglichen werden mit dem Lauf der Sonnen oder des Mondes, mit dem rieseln von Sand oder Wasser in ein Gefäß oder mit dem Schwingen von Pendeln oder von Elektronen im Atom.

Genau wie beim Raum führt man Koordinaten ein, also Zeitkoordinaten. Man trägt Zeitabläufe in ein Koordinatensystem ein und bekommt so ein objektives Bild der Zeit. In diesem Bild wirkt Zeit sehr absolut und es ist dann schon verblüffend, wenn der Lauf der Zeit vom Bezugssystem abhängt, wie oben beim Zwillingsparadoxon.

Erleben von Zeit

In meinem Erleben ist die Zeit ganz und gar nicht absolut. Ich mache einen Spaziergang zum Turm und der erscheint mir ziemlich weit. Auf dem Heimweg kommt der Weg mir aber schon wesentlich kürzer vor. Manche Stunde vergeht mir wie im Flug, etwa, wenn ich in einer Prüfung sitze und erst

die Hälfte der Aufgaben gelöst habe. Wenn ich auf dem Bahnhof sitze und auf den Zug warte, erscheint mir so eine Stunde manchmal schon wie eine Ewigkeit.

Vier Wochen vor Weihnachten - für mich als Kind war das auch eine Ewigkeit. Heute ist das nicht mehr so.

Physiologie des Zeiterlebens

Unser Gehirn arbeitet sehr langsam. Seine Funktion basiert auf elektrochemischen Prozessen. Ionen dringen durch Zellwände, polarisieren die Zelle und diese emittiert erneut Ionen. Das führt zu Erregungswellen, deren Geschwindigkeit ein paar Meter pro Sekunde beträgt. Bis beispielsweise die Empfindung eines Hautkontakts voll ausgewertet ist, vergeht fast eine Sekunde.

Das ist verblüffend und entspricht ganz und gar nicht meinem Zeiterleben. Ich treffe die Entscheidung, mit dem Finger zu schnippen und tue es. Nach meiner Wahrnehmung vergeht da so gut wie keine Zeit. Wenn man sich die dazugehörigen Gehirnaktivitäten anschaut, vergeht da fast eine Sekunde. Unser Gehirn wendet Tricks an, um uns ein unmittelbares Zeiterleben zu vermitteln. Zum Beispiel setzt es Zeitmarken, von denen wir jedoch nichts merken.

Die Zeit in der Quantenmechanik

In der Quantenmechanik gibt es Zeit nur als Zeitpunkte einer Messung. Es gibt keine zeitliche Ortsänderung oder so etwas. Der quantenmechanische Formalismus erlaubt es zu berechnen, wann und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Detektor anspricht, nicht wie sich ein Elektron in Raum und Zeit bewegt.

Ist ein System in einem sogenannten reinen Zustand, etwa ein Elektron in einem ganz bestimmten Atomenergieniveau, dann ist die Wahrscheinlichkeit für eine Detektion konstant, sie ändert sich nicht mit der Zeit. Ist ein Elektron im Atom auf mehrere mögliche Zustände verteilt, dann oszilliert die Wahrscheinlichkeitsverteilung, ihr Maximum wandert mit der Zeit zwischen verschiedenen Orten der Manifestation hin und her.

Zeit erscheint hier so: Etwas kann sich auf verschieden Art und Weisen manifestieren. Die Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Manifestationen wechseln sich ab. Zeit ist so eine Ordnungsstruktur die erlaubt, Ganzes und nicht Bewusstseinsfähiges in einer Sequenz einzelner Aspekte zu erleben.