

## Über das Wesen der Zeit

Unser Leben verläuft in Raum und Zeit: Im Raum, der uns umgibt, und von dem wir einen Teil einnehmen, und in der Zeit, die in diesem Raum unaufhaltsam verrinnt und die wir durch Uhren zu erfassen und zu messen versuchen.

Und nicht nur unser Leben, auch alle physikalischen Vorgänge laufen in Raum und Zeit ab, wobei der Raum unsere Erde, unser Sonnensystem oder das Weltall überhaupt sein kann. Raum und Zeit zusammen stellen gleichsam die Bühne dar, auf der sich alle physikalischen Vorgänge – und nicht nur sie – abspielen. Die Physik versucht diese Vorgänge zu erfassen, zu beschreiben, zu verstehen, während sie sich für die Bühne selbst, für Raum und Zeit und deren Wesen, nur am Rande interessiert: Lediglich in einem kleinen Spezialgebiet der Physik stehen Raum und Zeit selbst im Mittelpunkt: In der Speziellen und der Allgemeinen Relativitätstheorie Albert Einsteins und in den darauf aufbauenden kosmologischen Theorien.

### 1 Einige grundsätzliche Gedanken über die Zeit

Die Zeit ist eines der geheimnisvollsten Phänomene. Seit zweieinhalb Jahrtausenden beschäftigen sich die Philosophen des Abendlandes mit ihr, mit dem etwas mageren Ergebnis, dass sich die Zeit zwar messen lässt und dass sich ihre Eigenschaften beschreiben lassen, dass sie selbst aber nicht erklärt werden kann. »Soweit wir heute wissen, ist es nicht möglich, die Zeitlichkeit der Natur mittels Theorien auf fundamentalere Eigenschaften zurückzuführen.« (Brockhaus Enzyklopädie, 19. Aufl., Stichwort »Zeit«) Daher auch erscheint die Zeit in allen physikalischen Maßsystemen von jeher als »Grundgröße« oder »Basisgröße«, das heißt als Größe, deren Definition sich nicht auf andere Größen stützt. In Anbetracht dessen muss es als merkwürdig – wenn nicht gar widersprüchlich erscheinen – dass die Messung der Zeit (genauer: die Messung von Zeitspannen) ausschließlich möglich ist durch den Vergleich mit der Dauer von zyklischen Bewegungen, also von Vorgängen in Zeit und Raum, sei es die Dauer der Entleerung einer antiken Wasser- oder Sanduhr, die Dauer einer Pendelschwingung oder der eines Quarzkristalls oder – bei modernen Atomuhren – die Schwingungsdauer einer bestimmten Art von Licht.

Gleichfalls nach Brockhaus (der auch hier die in der heutigen Physik geltende Auffassung korrekt wiedergibt) ist »nach Einsteins spezieller Relativitätstheorie (genauer: nach deren von Minkowski vorgenommenen und allgemein übernommenen Interpretation, S. P.) die Zeit eine von dem umfassenderen Begriff der Raum-Zeit künstlich abgespaltene Dimension«, meines Erachtens ein (auf Minkowski zurückgehender) fundamentaler Irrtum. Einzelheiten dazu finden sich unter „Einführung in die Spezielle Relativitätstheorie, 2. Teil“ auf dieser Website.

## 2 Einige Gedanken über den Raum

Den Raum, in dem wir leben, unseren »Erfahrungsraum« – von unserer unmittelbaren Umgebung bis in die Tiefen des Weltalls –, erleben wir als dreidimensional. Das heißt: Es gibt – nach unserer Wahrnehmung – drei voneinander unabhängige Ausdehnungsrichtungen: Länge, Breite und Höhe. Längen und Breiten messen wir im Allgemeinen parallel zu Erdoberfläche, Höhen senkrecht dazu. Dass dies willkürlich ist, erkennen wir, wenn wir uns vorstellen, wir bewegten uns auf der kugelförmigen Erdoberfläche ein merkliches Stück weiter. Dann ändern sich sämtliche Richtungen, bis schließlich, wenn wir nach Australien gekommen sind, Höhe und Tiefe gerade vertauscht sind.

Nicht willkürlich aber ist, dass wir die Gesamtheit des Raumes durch genau drei Dimensionen erfassen können. Konkret bedeutet das: Wir kommen mit einem dreidimensionalen Koordinatensystem aus, wenn wir die Lage eines Punktes im Raum oder die Abmessungen eines Körpers darin beschreiben und messen wollen. So braucht man z. B. genau drei Zahlen, um die Lage eines Punktes in einem dreidimensionalen Koordinatensystem zu beschreiben. Diese drei Zahlen heißen meistens die X-, die Y- und die Z-Koordinate des Punktes.

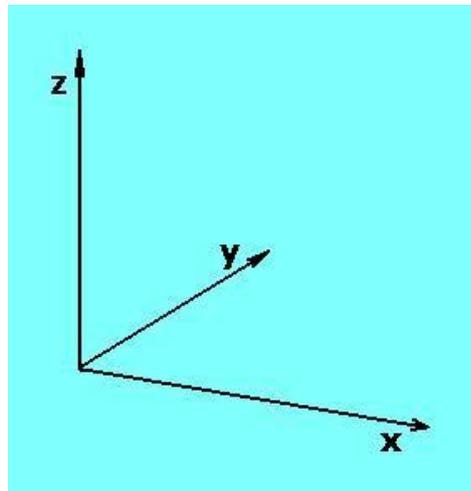


Abbildung 1: Ein dreidimensionales (rechtwinkliges) Koordinatensystem (in perspektivischer Darstellung)

Dabei ist die Lage des Koordinatensystems im Prinzip gleichgültig: man kann es beliebig verschieben und sogar drehen; nur ist es für die Kommunikation mit anderen notwendig, sich jeweils auf ein bestimmtes Koordinatensystem zu einigen oder aber mitzuteilen, welches man gerade benutzt. (Im letzteren Fall kann man nämlich mit Hilfe von Formeln die Koordinaten der verschiedenen Systeme ineinander umrechnen.)

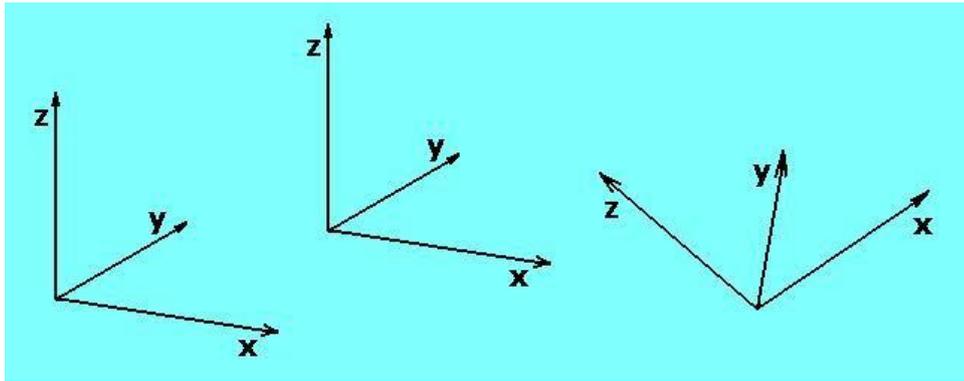


Abbildung 2: Parallele und nichtparallele (rechtwinklige) Koordinatensysteme (ebenfalls perspektivisch dargestellt)

Zwar ist es meist zweckmäßig, aber nicht unbedingt nötig, dass die Koordinatensysteme rechtwinklig sind, die Achsen dürfen auch beliebig schief zueinander sein. Aber: Es müssen genau drei Achsen sein, und sie dürfen nicht in derselben Ebene liegen.

Und genau dies, die Notwendigkeit von drei Achsen zur eindeutigen Beschreibung der Lage irgendeines Punktes im Raum, ist das formale Charakteristikum eines dreidimensionalen Raumes.

Unser »Erfahrungsraum«, der Raum unserer alltäglichen Erfahrung und Wahrnehmung, ist ein solcher dreidimensionaler Raum.

Es ist bezeichnend, dass wir beim Stichwort »Raum« – wenn nicht ausdrücklich etwas anderes gesagt wird – zunächst immer an einen dreidimensionalen Raum denken. Aber wir können uns auch einen zweidimensionalen Raum vorstellen, etwa eine Welt, in der es keine Höhe (und Tiefe) gibt, daher auch keine »Dicke«, sondern nur Länge und Breite. Man mag einwenden: Aber das ist dann doch gar kein Raum, sondern eine Ebene. In der Mathematik ist es jedoch üblich und hat sich als sinnvoll erwiesen, den dreidimensionalen Raum lediglich als Spezialfall zu betrachten und daneben auch zwei- und selbst eindimensionale Gebilde (Flächen bzw. Linien) als Räume gelten zu lassen. Das formale Charakteristikum eines zweidimensionalen Raumes ist, dass man in ihm mit einem zweidimensionalen Koordinatensystem auskommt und nur zwei Zahlen braucht, um die Lage irgendeines Punktes in diesem Raum – in oder auf dieser Ebene – zu beschreiben.

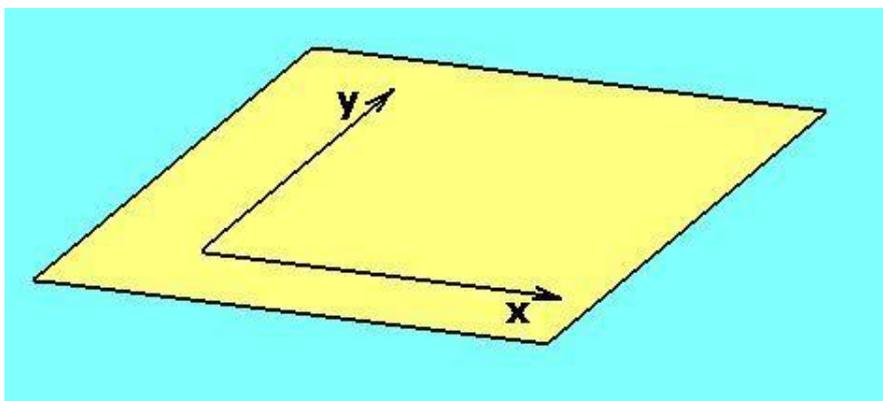


Abbildung 3: Ein zweidimensionaler Raum

Dazu eine wichtige Ergänzung: Zweidimensionale Räume (Flächen) müssen nicht unbedingt eben sein. Auch die *Oberfläche* eines Globus ist ein zweidimensionaler Raum: Es genügen zwei Zahlen (die geographische Länge und Breite), um die Lage irgendeines Punktes zu charakterisieren.

Nun lassen Sie uns ein kleines Gedankenexperiment machen: Stellen Sie sich vor, auf einem Globus lebten zweidimensionale, also flache Lebewesen, die sich – sei es infolge der eingeschränkten Struktur ihres Geistes oder wegen fehlender anderweitiger Erfahrung – eine dritte Dimension einfach nicht vorstellen können. Sie bräuchten diese Vorstellung (zunächst) auch gar nicht, weil in ihrer Welt dafür keine Notwendigkeit und keine Anwendungsmöglichkeit besteht. Wozu sollte ihnen die Vorstellung einer dritten Dimension auch dienen? Unter diesen Lebewesen (»Flachlingen«) gebe es eines Tages einen zweidimensionalen Euklid, und dieser entwickelte eine Euklidische Geometrie, die übrigens völlig identisch mit unserer Euklidischen Geometrie der Ebene wäre. Er entdeckte dabei auch den Satz, dass die Winkelsumme in jedem Dreieck exakt 180 Grad beträgt.

Über 2000 Jahre später kommt ein kühner Geist auf die Idee zu fragen, ob die Euklidische Geometrie tatsächlich auf die Wirklichkeit zutrefte, ob die ihr zugrunde liegende Vorstellung, der Lebensraum sei eben, überhaupt der Wirklichkeit entspreche. Er überlegt, wie das überprüft werden könne und kommt schließlich darauf, dass er dazu die Winkel eines hinreichend großen Dreiecks messen und zusammenzählen müsse (eine Idee übrigens, die kein Geringerer als Carl Friedrich Gauß tatsächlich erdachte und ausführte, nur sind irdische Dreiecke zu klein, als dass man daran eine Abweichung bemerken könnte). Nehmen wir einmal an, dem zweidimensionalen Mathematiker wäre es anders ergangen und er hätte tatsächlich eine Differenz festgestellt. Nach einigen weiteren Messungen in anderen Richtungen wäre er dann darauf gekommen, dass der Lebensraum der Flachlinge – die vermeintliche Ebene – nach allen Richtungen gleichmäßig gekrümmt ist und so etwas wie eine »Kugel« darstellt. Zwar könnte keiner der Flachlinge sich darunter etwas (anschaulich) vorstellen, denn dazu bedürfte es einer dreidimensionalen Vorstellungskraft, aber ihr genialer Mathematiker – zwar hoch geehrt, aber doch für etwas sonderbar gehalten – hätte bald eine Geometrie der Kugel (eine sphärische Geometrie) entwickelt, für seine Zeitgenossen eine Absurdität. Und er hätte seinen Mitmenschen verkündet, dass sie nur etwa 40 000 km immer geradeaus gehen müssten, dann würden sie zu ihrem Ausgangspunkt zurückkommen. Und wenn sie ihn nicht in ein Irrenhaus gesperrt hätten, dann hätte er es sogar selbst ausprobiert. Aber irgendwann gab es unter ihnen einen Kolumbus ...

Und nun stellen Sie sich vor, uns könnte es ähnlich ergehen wie den Flachlingen, nur eine Stufe, eine Dimension höher: Aufgrund unserer geistigen Struktur können wir uns höchstens dreidimensionale Räume vorstellen und können uns bei aller Anstrengung nicht denken, wohin denn eine vierte Dimension weisen sollte: es ist einfach kein Platz, keine weitere Richtung mehr da. Dennoch haben seit Gauß einige Mathematiker daran gearbeitet, die Gesetze hypothetischer vier- und mehrdimensionaler Räume zu erforschen und zu formulieren, nur aus Neugier und Spaß, zunächst ohne jeden praktischen Zweck. Aber immerhin mit dem Gedanken, es könnte so etwas geben, und dieser Gedanke war es auch, der Gauß dazu brachte, die vorhin genannten Messungen durchzuführen. (Leider ohne Erfolg: das vermessene Dreieck war zu klein, als dass eine Abweichung hätte bemerkt werden können. Aber wir wissen inzwischen aus anderen Beobachtungen, dass die Zweifel von Gauß berechtigt waren.)

Anmerkung: Wer mehr über das Leben in einer zweidimensionalen Welt erfahren möchte, sei auf das faszinierende Buch von Edwin A. Abbott, Flatland verwiesen.

### 3 Eine neue Sicht der Zeit

Nun endlich komme ich zu meinem eigentlichen Thema: Was ist die Zeit?

Um dies zu erklären, muss ich Sie – um Ihre (und meine eigene) Vorstellungskraft nicht zu überfordern – zunächst bitten, vorübergehend von der dritten Dimension unseres Raumes abzusehen und sich mit zwei Dimensionen zu begnügen, der Einfachheit halber mit einer Ebene, die nach allen Seiten beliebig ausgedehnt ist. Diese Ebene mache ich kenntlich durch ein (perspektivisch verzerrtes) Rechteck, das in der Ebene liegen soll, die aber nach allen Seiten darüber hinausgeht. In dieses Rechteck lege ich ein rechtwinkliges (gleichfalls perspektivisch verzerrtes) rechtwinkliges Koordinatensystem, das dann künftig für sich allein die Ebene vertreten soll (siehe Abbildung 3).

Was ich nun erklären werde, ruht auf dem Boden der längst allgemein anerkannten Speziellen Relativitätstheorie, die 1905 von Albert Einstein veröffentlicht wurde, genauer noch: auf dem Boden der Veranschaulichung (oder Interpretation) der Theorie, die Hermann Minkowski 1908 veröffentlicht hat. Diese Darstellung, der so genannte Minkowski-Raum, gilt seither als »die angemessene mathematische Beschreibung der speziellen Relativitätstheorie« (Brockhaus Enzyklopädie, 19. Aufl., Stichwort »Relativitätstheorie«). Meine Beiträge dazu sind lediglich:

1. eine andere, und wie ich meine, nachweislich richtige Interpretation des Minkowski-Raumes und
2. die sich daraus zwangsläufig ergebenden Folgerungen hinsichtlich des Wesens der Zeit.

Bei richtiger Interpretation des Minkowski-Raumes ergibt sich, dass der dreidimensionale (in der folgenden Abbildung zweidimensionale) Raum unserer Erfahrung sich mit Lichtgeschwindigkeit in Richtung einer vierten (in der Abbildung: einer dritten) räumlichen Dimension bewegt. Diese Bewegung ist für uns aus zwei Gründen nicht wahrnehmbar:

1. Eine gleichbleibende (das heißt: nicht beschleunigte) Bewegung ist »innerhalb des Bezugssystems« (das heißt: ohne Blick »nach draußen«, auf ein anderes Bezugssystem) prinzipiell nicht erkennbar, nicht wahrnehmbar.
2. Die Bewegung erfolgt in Richtung einer nicht vorstellbaren vierten Dimension und kann schon darum nicht wahrgenommen werden: es gibt für uns gar keine Richtung, in der die Bewegung verlaufen könnte.

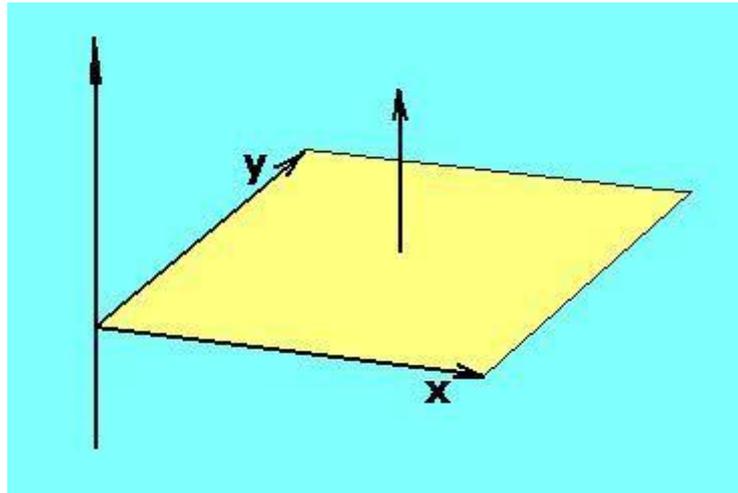


Abbildung 4: Bewegung des Raumes unserer Erfahrung (dargestellt durch ein zweidimensionales XY-Koordinatensystem) in Richtung einer dritten Dimension

Statt der (uns unmöglichen) Wahrnehmung dieser Bewegung, die uns den Wechsel der Erscheinungen in der Welt mit einer Ortsveränderung im Raum von »unten« über »hier« nach »oben« verknüpft erkennen ließe, erleben wir (gleichsam ersatzweise) den Eindruck einer von »früher« über »jetzt« nach »später« verfließenden, im Übrigen aber schwer fassbaren Zeit, mit welcher der Wechsel der Erscheinungen verbunden zu sein scheint. Anders gesagt: Statt einer dreidimensionalen Welt, die sich in Richtung einer vierten (räumlichen) Dimension bewegt, nehmen wir eine dreidimensionale Welt wahr, in der etwas abläuft, das wir Zeit nennen. Was in Wirklichkeit ein räumliches »Darüber« oder »Darunter« (in Richtung der vierten Dimension) ist, erscheint uns als zeitliches »Später« bzw. »Früher«. Die »Gegenwart« ist der gegenwärtige, ständig wechselnde Ort unserer dreidimensionalen Welt, unseres Erfahrungsraumes, innerhalb des vierdimensionalen Raumes; die Zukunft ist der »darüber« liegende Teil des vierdimensionalen Raumes, die Vergangenheit der »darunter« liegende. (Siehe dazu auch Abb. 5 und 6.)

#### 4 Was ist mit dieser Erkenntnis gewonnen?

1. Das noch nie richtig erfassbare Phänomen »Zeit« ist auf einen verständlichen, einsehbaren, »denkbaren«, wenngleich (aus Gründen unserer geistigen Struktur) nicht anschaulich vorstellbaren Bewegungsablauf zurückgeführt.
2. Die von der Relativitätstheorie behauptete (und inzwischen durch zahlreiche Experimente bestätigte) »Relativität der Zeit« wird verständlich: Die Zeitlichkeit der Natur ist keine fundamentale Eigenschaft. Fundamental ist vielmehr die Bewegung unseres Erfahrungsraumes in Richtung einer vierten Dimension, und diese Bewegung ist in allen Bezugssystemen (allen Erfahrungsräumen) – auch wenn diese sich relativ zueinander bewegen – (subjektiv) die gleiche. (Das bedeutet: Jedes Bezugssystem – jeder Erfahrungsraum – bewegt sich in Richtung »seiner« vierten Dimension mit Lichtgeschwindigkeit, aber im vierdimensionalen Raum sind die Bewegungsrichtungen relativ zueinander bewegter Bezugssysteme verschieden, und daher sind auch die Richtungen ihrer vierten Dimensionen verschieden.) Daraus resultiert eine unterschiedliche Bewertung des Zeitablaufs und der Gleichzeitigkeit in den einzelnen Systemen. Diese Tatsachen werden nun nicht nur verständlich und einleuch-

tend, sondern – bei Beschränkung auf einen zweidimensionalen Erfahrungsraum – sogar anschaulich vorstellbar.

3. Durch diese Erkenntnis ändert sich selbstverständlich nichts an der Beschränktheit unseres Vorstellungsvermögens auf drei räumliche Dimensionen. Wir werden daher die Zeit weiterhin brauchen zur Ordnung unserer Erfahrungen, und wir werden sie weiterhin mit herkömmlichen Uhren messen. Es wird sich in unserem Alltag nichts ändern durch das neu gewonnene Wissen, dass es die Zeit »an sich«, als Fundamentalgröße, gar nicht gibt. Aber wir können den Begriff »Zeitspanne« neu und gründlicher definieren und nicht mehr lediglich als das, was unsere Uhren messen.

4. Den heuristischen Wert des neuen, räumlich vierdimensionalen Minkowski-Raumes (das bedeutet: seinen Wert zur Gewinnung neuer oder zur neuen Grundlegung bereits vorhandener Erkenntnisse) zeige ich in meiner Website auf, die unter anderem eine (fast) allgemein verständliche Einführung in die Spezielle Relativitätstheorie enthält. Ausgehend von der Annahme, dass sich unser dreidimensionaler Erfahrungsraum und jeder beliebige andere, relativ dazu bewegte Erfahrungsraum innerhalb eines vierdimensionalen Raumes (mit einer speziellen »pseudoeuklidischen« Struktur) mit Lichtgeschwindigkeit in der jeweiligen Richtung der vierten Dimension bewegt, lassen sich mühelos und unmittelbar anschaulich alle Eigenschaften herleiten, welche die verschiedenen Erfahrungsräume im vierdimensionalen Raum besitzen. Daraus wiederum können leicht die sogenannten Lorentz-Transformationen und damit das mathematische Fundament der Relativitätstheorie gewonnen werden. Das der Relativitätstheorie als Hypothese zu Grunde liegende Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ergibt sich beiläufig als notwendige Konsequenz.

5. Schließlich aber ergibt sich aus der neuen Deutung auch eine neue Erkenntnis: Der zu irgendeinem Zeitpunkt gegenwärtige Zustand des Erfahrungsraumes verschwindet nicht spurlos, wenn sich der Erfahrungsraum selbst in Richtung der vierten Dimension bewegt, sondern bleibt erhalten. So entsteht ein vierdimensionales (hyper)räumliches Gebilde, wovon »frühere«, in der »Vergangenheit« liegende Zustände des Erfahrungsraumes lediglich dreidimensionale Ausschnitte in einer »tiefer gelegenen Etage« sind. Auch dies kann wieder nur an einem Beispiel mit einem zweidimensionalen Erfahrungsraum in einem dreidimensionalen »Weltraum« anschaulich gemacht werden:

In einem ebenen Erfahrungsraum befinde sich eine kleine, kreisförmige Bakterienkultur, die sich im Laufe einiger Stunden nach allen Seiten gleichförmig ausbreite. Ein in der Ebene befindlicher, gleichfalls flacher Beobachter mit nur zweidimensionaler Wahrnehmungsfähigkeit erlebt das Wachsen der Bakterienkultur als zeitliches »Nacheinander« von immer größeren Kreisen, die er allerdings in seiner Ebene nur als Striche wahrnehmen kann. Von oben betrachtet sehen diese Kreise etwa so aus:

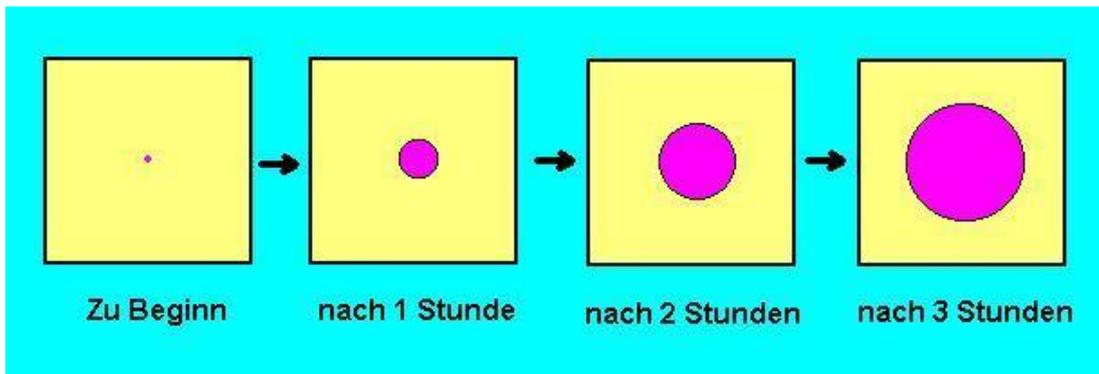


Abbildung 5: Wachstum einer Bakterienkultur in einem ebenen Erfahrungsraum

Im dreidimensionalen „Weltraum“ aber, in dem sich der ebene Erfahrungsraum nach oben bewegt, ist die Bakterienkultur ein auf der Spitze stehender Kreiskegel. Die oben abgebildeten Momentaufnahmen in gleichen zeitlichen Abständen sind ebene Schnitte dieses Kegels in gleichen räumlichen Abständen.

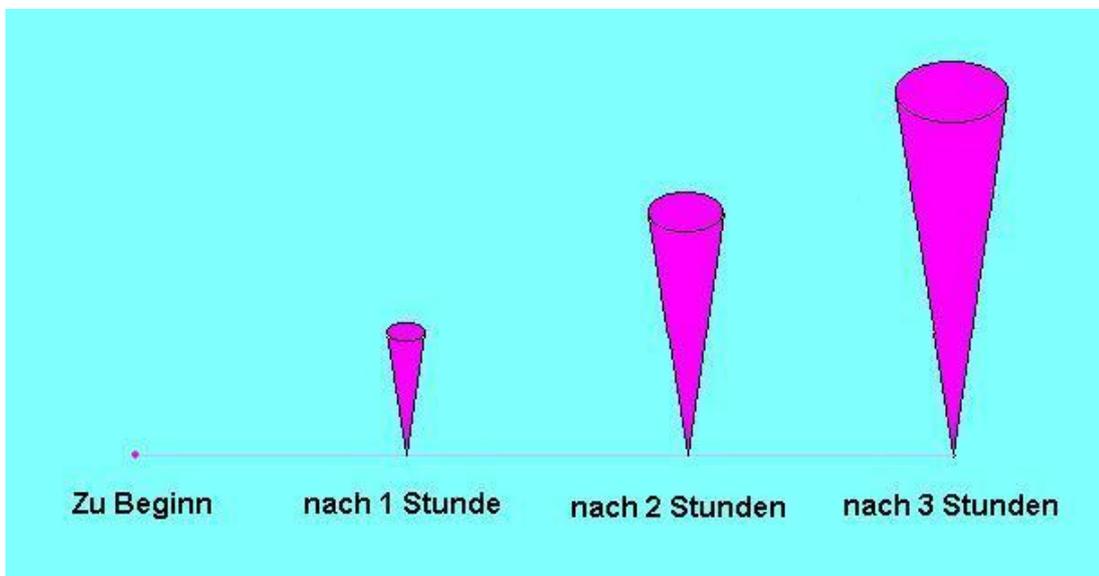


Abbildung 6: Wachstum der Bakterienkultur im dreidimensionalen »Weltraum«

Ein weiteres, fast perfektes Analogon ist das so genannte »Daumenkino«.

**Nachwort:** 1. Inzwischen gibt es eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Beobachtungen, die diese Überlegungen stützen und die unter striktesten Bedingungen gewonnen wurden. Eine Zusammenfassung dieser Beobachtungen (sowie zahlreiche Quellenangaben dazu) finden sich im Kapitel 9 von *Lynne McTaggart, Das Nullpunkt-Feld, München 2007*. 2. Einstein wusste (wie hätte es auch anders sein können?) von dem hier geschilderten Wesen der Zeit. Allerdings sind nur zwei schriftliche Äußerungen von ihm dazu bekannt, und so kommt es, dass dieses Wissen im Bewusstsein der Physiker niemals angekommen ist und nicht einmal in Vergessenheit geraten konnte, weil es nie bekannt war: Drei Wochen vor seinem Tod schrieb Einstein der Witwe seines gerade verstorbenen Freundes Besso: »Für uns gläubige Physiker hat die Scheidung zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft nur die Bedeutung einer wenn auch hartnäckigen Illusion.« (Zitiert nach Fölsing, Albert Einstein, Suhrkamp TB 1999, S. 828.

Und schon viel früher schrieb er: »Die Physik wird aus einem Geschehen im dreidimensionalen Raum gewissermaßen ein Sein in der vierdimensionalen „Welt“.« (Einstein, Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, 11. Auflage, Braunschweig 1921, S. 83.)