



Jürgen Altenbrunn

EINE KURZE GESCHICHTE DER ZEIT

Teil 2

oder

ÜBER DIE NATUR VON ZEIT UND RAUM

Jürgen Altenbrunn  
Eine kurze Geschichte der Zeit, Teil 2,  
oder über die Natur von Zeit und Raum  
Selbstverlag

ISBN 978-3-00-041282-0

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Autors reproduziert oder in eine andere Sprache übersetzt oder übertragen werden, oder in eine von Datenverarbeitungsanlagen verwendbare Form übertragen werden. Es ist nur die unveränderte Weitergabe der im Internet erhältlichen, nicht druckbaren PDF-Datei erlaubt.

1. Auflage, Berlin im Dezember 2012
2. Auflage, Berlin im Februar 2016

Jürgen Altenbrunn

# EINE KURZE GESCHICHTE DER ZEIT

Teil 2

oder

# ÜBER DIE NATUR VON ZEIT UND RAUM

## Inhalt

1. Einleitung . . . . .	2
2. Eigenschaften von Raum und Zeit . . . . .	3
3. Wieviel Dimensionen hat der Raum . . . . .	7
4. Symmetrien der Bewegung . . . . .	9
5. Folgerungen aus den Symmetrieeigenschaften	11
6. Das Kausalitätsprinzip . . . . .	12
7. Kausalketten im Raum . . . . .	17
8. Was ist Zeit ? . . . . .	19
9. Wie mißt man Zeit ? . . . . .	21
10. Einige Betrachtungen zu modernen Dar- stellungen von Raum und Zeit . . . . .	23
11. Warum ist in vielen physikalischen Gleichungen die Zeit umkehrbar ? . . . . .	27
12. Was ist eine Verzerrung von Raum oder Zeit	32
13. Sind Zeitreisen möglich ? . . . . .	36
14. Zusammenfassung . . . . .	41

# 1. Einleitung

Als ich diese kleine Schrift begann, wollte ich zunächst nur etwas zur Zeit schreiben. Und so erschien diese Schrift dann auch im Jahr 2002. Ich hielt es später aber doch für notwendig, auch etwas zum Raum zu schreiben. Und deshalb habe ich diese Schrift nun um Kapitel zum Raum ergänzt.

Viele Menschen haben sich schon Gedanken darüber gemacht, was Raum und Zeit eigentlich sind. Zur Klärung dieser Frage ließen die Menschen ihrer Phantasie freien Lauf. Da die Menschen in den letzten hundert Jahren gelernt haben, daß die vorher für unmöglich gehaltene freie Bewegung im Raum durch Flugzeuge und Raketen möglich ist, wurde in den Vorstellungen über die Möglichkeiten zukünftiger Generationen auch die Möglichkeit zur freien Bewegung in der Zeit eingeräumt. Ob das wirklich möglich ist, wird im folgenden dargelegt.

Raum und Zeit sind ganz wesentliche Begriffe, die im gewöhnlichen Leben, in der Naturwissenschaft allgemein, und in der Physik benötigt werden. Deshalb ist die Klärung der Begriffe „Raum“ und „Zeit“ auch wichtig für das Verständnis der Vorgänge, die um uns herum ablaufen. Der englische Physiker Stephen W. Hawking hat 1988 das wunderbare Buch „Eine kurze Geschichte der Zeit - Die Suche nach der Urkraft des Universums“ geschrieben. Der Titel verführt zu der Annahme, das Buch würde klären, was Zeit eigentlich ist. Aber genau diese Erklärung vermißt man in dem Buch, sie wird nicht einmal in dem Kapitel „Der Zeitpfeil“ geliefert. Weil der Raumbegriff und der Zeitbegriff für die Physik und auch für die Weltanschauung so grundlegend sind, soll hier nun dargelegt werden, was Raum und Zeit eigentlich sind. Und auch, welche Folgerungen sich daraus ergeben.

Raum- und Zeitbegriff haben natürlich auch psychologische, historische, philosophische und andere Gesichtspunkte. Hier werden fast nur die physikalischen Gesichtspunkte dargelegt.

## 2. Eigenschaften von Raum und Zeit

Um die Natur von Raum und Zeit zu verstehen, ist es zweckmäßig, zuerst einmal zu untersuchen, welche Eigenschaften Raum und Zeit haben. Wozu ist es notwendig, Raum- und Zeitangaben zu machen ?

Zur Beschreibung eines Ereignisses muß man wissen, was sich wann und wo ereignet hat. Diese Angaben über das Ereignis und über den Ort, wo das Ereignis stattgefunden hat, und die Zeit, zu der das Ereignis geschah, werden in Abhängigkeit von den Erfordernissen sehr unterschiedlich gemacht. Wenn in einem Roman steht „*Das braune Auto steht vor der Tür.*“, dann ist das Ereignis, daß das braune Auto vor der Tür steht. Die Ortsangabe ist recht allgemein gehalten mit „*vor der Tür*“. Als Zeitangabe ist nur ein imaginäres „*jetzt*“, zur Zeit der Handlung, vorhanden. Mehr Information ist möglicherweise auch gar nicht notwendig. Wenn nun in dem Roman der nächste Satz lautet: „*Da klingelt der Postbote an der Tür.*“, dann werden die beiden Ereignisse „*Das braune Auto steht vor der Tür*“ und „*Der Postbote klingelt an der Tür*“ in eine zeitliche und räumliche Beziehung zueinander gebracht. Zu der Zeit, als das braune Auto vor der Tür steht, klingelt der Postbote an der Tür. Die Angaben über Ort und Zeit eines Ereignisses sind also notwendig, um das Ereignis mit anderen Ereignissen in eine räumliche und zeitliche Beziehung zu bringen.

Eine derart vage Angabe von Ort und Zeit reicht natürlich nicht für jede Beschreibung eines Ereignisses aus. Für ein gezieltes Zusammentreffen mehrerer Personen, zum Beispiel für das Treffen einer ehemaligen Schulklasse, müßten die Angaben dann schon lauten: „*Das Klassentreffen findet am 10.9.2003 um 18 Uhr im Café 'Am Park' in Berlin Prenzlauer Berg statt.*“ Man sieht also, daß die Angaben von Ort und Zeit sehr unterschiedlich sein können. Diese Angaben werden entsprechend den Notwendigkeiten gemacht, um einen zeitlichen und räumlichen Zusammenhang von Ereignissen darzustellen. Die Zeitangabe für das Ereignis Klassentreffen „*10.9.2003 um 18 Uhr*“ ist eine für uns Menschen recht präzise Form

der Zeitangabe, die sich auf einen von uns selbst festgelegten Zeitmaßstab bezieht, nämlich den Kalender und die Uhrzeit. Auch die Ortsangabe „*im Café 'Am Park' in Berlin Prenzlauer Berg*“ ist eine von den Menschen selbst festgelegte Ortsbezeichnung und nur dann sinnvoll, wenn alle, die diese Nachricht vom Klassentreffen betrifft, wissen, wo sich das Café 'Am Park' befindet. An der vom Menschen vorher vereinbarten Ortsangabe ändert sich auch nichts, wenn man die Adresse des Cafés 'Am Park' oder die geografischen Koordinaten des Cafés angeben würde. Auch diese Angaben setzen voraus, daß man vorher Vereinbarungen über die Angabe des Ortes getroffen hat, in diesem Fall die Benennung von Straßen und Hausnummern oder die Definition der geografischen Koordinaten. Man sieht also, daß sich die Orts- und Zeitangaben auf vorher getroffene Vereinbarungen über die Raum- und Zeitaufteilung beziehen. Aber alle Angaben von Ort und Zeit haben immer nur einen Zweck: die Koordinierung von Ereignissen.

Zur Zeitaufteilung werden der Kalender und die Uhrzeit benutzt. Die Uhrzeit ist die feinere Unterteilung eines natürlichen Zeitintervalls, des Tages. Der Kalender ist eine sinnvolle Zählung und Gruppierung der Tage zu größeren, überschaubaren Zeiträumen, den Wochen, Monaten, und den größten natürlichen Zeitintervallen, den Jahren. In Mitteleuropa wird der Kalender des Papstes Gregor verwendet, in anderen Ländern wird der mohammedanische Kalender verwendet und in wieder anderen Ländern der chinesische Kalender. Zur Festlegung eines Ortes kann man eine Ortsbezeichnung, die Adresse oder geografische Koordinaten benutzen. Es ist also auf sehr unterschiedliche Weise möglich, Ort und Zeit eines Ereignisses zu beschreiben. Wichtig ist nur, daß diejenigen, die diese Beschreibung benötigen, diese Beschreibung auch verstehen. So ist es im Allgemeinen unsinnig, einem Taxifahrer das Ziel der Fahrt in geografischen Koordinaten, oder zur Vereinbarung eines Treffens in Berlin das Datum des mohammedanischen Kalenders anzugeben.

Eine Zeitangabe besteht wie auch die Ortsangabe immer aus der Angabe der Anzahl von Elementen Abweichung gegenüber einem Bezugspunkt. Elemente der Zeitangabe sind Jahre, Tage, Stunden, Minuten oder Sekunden. Diese Elemente der Zeitangabe haben sich im Gegensatz zu den Elementen der Ortsangabe in der Welt durchgesetzt. Unterschiede bei der Zeitangabe in den heute gebräuchlichen Kalendern gibt es eigentlich nur durch eine unterschiedliche Zählweise der Tage oder durch den unterschiedlichen Beginn der Zeitzählung. Elemente der Ortsangabe sind Millimeter, Zentimeter, Meter, Kilometer, Astronomische Einheiten, Lichtjahre, oder die im englischen Sprachraum üblichen Zoll, Fuß, Yard und verschiedenen Sorten von Meilen. Die Ortsangabe kann auch über zwei Winkelangaben und eine Entfernungsangabe erfolgen. Aber nicht nur die Skalierung unserer Maßsysteme zur Orts- und Zeitbestimmung sondern auch der Ursprung dieser Koordinatensysteme ist vom Menschen willkürlich festgelegt.

Durch die bisherige Betrachtung ist deutlich geworden, daß die Zeit eine Koordinate ist, wie auch die drei geometrischen Koordinaten, die einen Punkt im Raum definieren. Durch den Raum sind Ereignisse nebeneinander möglich, durch die Zeit sind Ereignisse nacheinander möglich. Bewegungen oder Veränderungen sind nur durch das Vorhandensein von Raum **und** Zeit möglich. Raum- und Zeitangaben dienen zur Koordinierung von Ereignissen.

Es gibt aber auch sehr grundsätzliche Unterschiede zwischen den Eigenschaften der räumlichen Koordinaten und den Eigenschaften der zeitlichen Koordinate. Es gibt drei räumliche Koordinaten, aber nur eine zeitliche Koordinate. Im Raum kann man sich, dort, wo sich keine andere Materie befindet, prinzipiell frei bewegen, aber nicht in der Zeit ! Die Zeit läuft einfach ab, sie geschieht einfach. Wir werden scheinbar gleichmäßig durch die Zeit bewegt und haben überhaupt keinen Einfluß auf die Zeit. Wir können uns nur zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort aufhalten, in dem wir uns vor

diesem Zeitpunkt zu dem betreffenden Ort begeben. Wir sitzen scheinbar in einem Zeitzug, der ständig, ohne anzuhalten mit uns weiterfährt, und nie an einem Ort, an dem er schon gewesen ist, noch einmal vorbeikommt. Warum ist das so ?

Zeit kann aber auch unterschiedlich schnell ablaufen. Wenn zum Beispiel ein Raumfahrer mit seinem Raumschiff mit einer Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit fliegt, dann vergeht die Zeit für den Raumfahrer langsamer, als für den ruhenden Beobachter. Aber auch für den Raumfahrer, der, wenn er nicht aus dem Fenster sieht, gar nicht bemerken würde, daß die Zeit für ihn langsamer vergeht, würde die Zeit immer weiter vergehen, sein Zeitzug fährt nur nicht ganz so schnell wie der Zeitzug des ruhenden Beobachters.

Es hat noch niemand beobachtet, daß die Zeit irgendwo rückwärts abgelaufen ist, oder daß irgendwo ein Stück Zeit gefehlt hat. Für uns läuft die Zeit immer ganz gleichmäßig ab. Wir erleben unseren Zeitzug scheinbar immer gleich schnell und ganz gleichmäßig fahrend. Es gibt keine Zeitsprünge, also kein Holpern des Zeitzuges. Auch wenn man viele physikalische Vorgänge umkehren kann, so läuft deswegen die Zeit niemals rückwärts. Wenn man einen Ball auf den Boden wirft so prallt er vom Boden zurück und man kann den Ball wieder auffangen. Wenn man einen Film von diesem Vorgang anfertigt, kann man nicht einfach entscheiden, ob der Film vorwärts oder rückwärts vorgeführt wird. Dieser Vorgang ist, wenn man es geschickt anstellt, umkehrbar, er würde kein physikalisches Gesetz verletzen, wenn man die Zeit rückwärts laufen lassen könnte. Wenn man nun einen Porzellanteller auf den Boden wirft, so zerspringt der Teller in viele kleine Stücke und er prallt nicht zurück. Mit dem Teller ist der Vorgang also keineswegs umkehrbar. Aber egal, ob man einen Ball oder einen Teller auf den Boden wirft, also egal ob der Vorgang umkehrbar ist oder nicht, die Zeit läuft niemals rückwärts !

In vielen physikalischen Gesetzen spielt die Abhängigkeit eines Zustandes vom Ort des Ereignisses oder vom Zeitpunkt des



Ereignisses eine wesentliche Rolle. Ein elektrisches Feld ist zum Beispiel die räumliche Verteilung der Kraft auf eine elektrische Ladung. Die Kraft auf diese elektrische Ladung ist abhängig vom Ort der Ladung. Es existiert also eine räumliche Verteilung der Kraft auf die Ladung. Diese Kraftverteilung kann auch noch zeitabhängig sein. So ist das zum Beispiel bei elektromagnetischen Wellen. Da verändert sich diese räumliche Verteilung der elektromagnetischen Kräfte ständig.

Auf Grund der Möglichkeit, daß bei vielen physikalischen Gesetzmäßigkeiten die Ablafrichtung der Zeit nicht festgelegt wird, haben Physiker den Begriff des Zeitpfeils geprägt. Durch den Zeitpfeil wird die Ablafrichtung der Zeit definiert. Kann man aber daraus, daß in den Gleichungen keine Zeitrichtung vorgegeben wird, schließen, daß die Zeitrichtung umkehrbar ist ?

Nachdem die grundlegenden Notwendigkeiten für Raum- und Zeitangaben geklärt sind, und auch einige grundsätzliche Eigenschaften von Raum und Zeit aufgezeigt wurden, soll zunächst erst einmal auf den Raum näher eingegangen werden.

### **3. Wieviel Dimensionen hat der Raum ?**

Im vorigen Kapitel wurde festgestellt, daß der Raum 3 Dimensionen hat, die Zeit jedoch nur eine Dimension. Warum hat der Raum 3 Dimensionen ? Eine Möglichkeit zur Klärung der Frage nach der Anzahl der Dimensionen des Raumes besteht darin, daß man untersucht, welche Folgerungen sich aus einer bestimmten Anzahl von Dimensionen ergeben würden. Diese Untersuchung wird im Folgenden gemacht.

Falls es gar keine örtliche Dimension geben sollte, müßten sich alle Objekte am selben Ort befinden, alle Ereignisse am selben Ort stattfinden. Es gibt eigentlich gar keinen Ort, der Ort ist überall.

Bewegungen und Drehungen sind nicht definierbar. Und damit ergibt sich sofort die Frage, ob es überhaupt noch Ereignisse gibt, die stattfinden können. Welche Veränderung kann ohne Bewegung stattfinden ?

Falls es nur eine einzige örtliche Dimension geben sollte, wäre eine Bewegung von Objekten nur in zwei einander entgegengesetzten Richtungen möglich. Alle Ortsangaben, Geschwindigkeiten, Impulse, Kräfte u.s.w. wären nur skalare Größen. Es gäbe keine gerichteten Größen (Vektoren). Drehungen sind nicht definierbar. Es gibt nur punktförmige oder fadenförmige Objekte. Zwei endliche Objekte, die einander nicht durchdringen können, lassen sich nicht aneinander vorbei bewegen. Einen derartig beschränkten Raum bezeichnen wir üblicherweise nicht als Raum.

Falls man zwei örtliche Dimensionen zulassen würde, könnten sich Objekte flächig bewegen. Ortsangaben, Geschwindigkeiten, Impulse, Kräfte u.s.w. wären gerichtete Größen (Zweiervektoren). Drehungen sind möglich, aber nur in einer einzigen Ebene. Drehachsen gäbe es nicht, nur Drehpunkte. Drehimpulse wären deshalb skalare Größen, sie hätten keine Richtung. Es gibt punktförmige, fadenförmige und flächige Objekte. Zwei endliche Objekte, die einander nicht durchdringen können, lassen sich aneinander vorbei bewegen, wenn sie sich nicht umschließen. Die Drehimpulserhaltung gilt auch schon in der zweidimensionalen Fläche, allerdings nur für Drehungen die genau in der Fläche liegen. Zweidimensionale Modelle werden benutzt, wenn man bildliche Darstellungen machen möchte, oder wenn die dritte Dimension nur eine untergeordnete Rolle spielt. Zum Beispiel auf Landkarten.

Erst wenn man drei örtliche Dimensionen zulässt, erhält der Raum die uns gewohnten Eigenschaften. Ortsangaben, Geschwindigkeiten Impulse Kräfte u.s.w. sind gerichtete Größen (Dreiervektoren). Drehungen sind in allen Richtungen möglich, Drehimpulse, Drehachsen u.s.w. sind daher ebenso gerichtete Größen. Im folgenden Kapitel wird noch dargelegt, wie wichtig das

ist. Es gibt punktförmige, fadenförmige, flächige und volumenhaltige Objekte. Zwei endliche Objekte, die einander nicht durchdringen können, lassen sich aneinander vorbei bewegen, wenn sie sich nicht umschließen. Das sind die uns bekannten üblichen Eigenschaften des uns umgebenden Raumes. Alle natürlichen Objekte sind volumenhaltig.

Alle Dimensionen liefern einen Beitrag zur Energie oder zum Impuls eines Objektes. Ein Beobachter, der nur 2 Dimensionen sehen könnte, würde nicht bemerken, daß es mehr als 2 Dimensionen gibt, solange sich die Objekte nur in 2 Dimensionen bewegen. In dem Augenblick, in dem ein Objekt die von den beiden Dimensionen aufgespannte Ebene des Beobachters verläßt, stimmen für den Beobachter weder der Energieerhaltungssatz, noch der Impulserhaltungssatz, auch wenn der Beobachter die Projektion des Objekts auf die beiden Dimensionen des Beobachters sehen kann. Das selbe würde geschehen, wenn sich ein 3-dimensionaler Beobachter in einem 4-dimensionalen Raum befinden würde. Daraus, das man noch nie einen Verstoß gegen den Energieerhaltungssatz oder den Impulserhaltungssatz beobachtet hat, kann man also folgern, daß wir in einem 3-dimensionalen Raum leben, oder aber, daß sich alle von uns beobachteten Objekte nur im 3-dimensionalen Raum bewegen. Es gibt bisher keinen vernünftigen Grund zur Annahme einer vierten, uns bisher verborgen gebliebenen geometrischen Dimension.

#### **4. Symmetrien der Bewegung**

In diesem Kapitel wird auf eine Eigenschaft des Raumes eingegangen, die erst mit dem 3-dimensionalen Raum möglich ist. Im vorangegangenen Kapitel wurde gesagt, daß im 3-dimensionalen Raum der Drehimpuls auch ein Vektor im Raum ist, genau wie jede Strecke, jede Geschwindigkeit, oder jeder lineare Impuls. Symmetrie der Bewegung sagt schon aus, diese Symmetrie ist erst durch das

Vorhandensein der Zeit möglich ! Bewegung ist Veränderung und erfordert neben dem Raum auch ein Nacheinander von Ereignissen.

Die wesentliche Eigenschaft, die erst der 3-dimensionale Raum ermöglicht, ist eine gewisse Symmetrie zwischen Translation und Rotation. Jede Rotationsbewegung läßt sich durch eine räumlich verteilte Translationsbewegung darstellen, und umgekehrt auch, jede Translationsbewegung läßt sich auch durch eine räumlich verteilte Rotationsbewegung beschreiben. Eine ringförmig verteilte Translation ist eine Rotation, und eine ringförmig verteilte Rotation ist eine Translation. Es existiert also eine Transformierbarkeit zwischen der Darstellung eines Vorgangs durch eine Translationsbewegung oder eine Rotationsbewegung. Interessant ist, daß diese Symmetrie nicht nur in der Mechanik besteht, sondern auch in der Elektrodynamik existiert. Das magnetische Feld ist die Rotation des elektrischen Feldes und das elektrische Feld ist die Rotation des magnetischen Feldes. Diese Gesetzmäßigkeiten sind schon lange als Maxwellsche Gleichungen bekannt.

Diese Symmetrie von Translation und Rotation ist eine sehr wesentliche Eigenschaft unseres Universums. Aus dieser Symmetrie ergeben sich einige der charakteristischsten Eigenschaften unseres Universums. Es gibt aber auch Unterschiede zwischen Translation und Rotation, die sehr wesentlich sind. Eine Kraftwirkung kann sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Translation ist also mit Lichtgeschwindigkeit möglich. Ein Drehimpuls kann sich nur als Aneinanderreihung von Translationen (z.B. eine zirkular polarisierte schraubenförmige Welle) mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Ein eingeschlossener Drehimpuls kann sich aber nicht mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, sondern nur mit einer beliebigen Geschwindigkeit kleiner als die Lichtgeschwindigkeit. Ein eingeschlossener Drehimpuls ist zum Beispiel ein rotierender massehaltiger Kreisel oder eine in sich geschlossene elektrische oder magnetische Feldlinie. Würde sich ein eingeschlossener Drehimpuls mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, dann würden sich

mindestens einzelne Teile der Umgebung des Drehimpulses schneller als Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Und genau deshalb lassen sich Elementarteilchen wie Protonen, Elektronen und Neutronen nicht mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Sie haben alle einen Spin (Drehimpuls des Teilchens) oder bestehen aus Einzelteilen, die einen Spin haben (Spin ist ein englisches Wort für Drehung). Der zur Beschreibung einer Translation mit Lichtgeschwindigkeit erforderliche räumlich verteilte (ringförmige) Drehimpuls bewegt sich an allen Stellen des Raumes mit einer Geschwindigkeit kleiner als die Lichtgeschwindigkeit.

## **5. Folgerungen aus den Symmetrieeigenschaften**

Aus der Symmetrie von Rotation und Translation folgen sehr grundsätzliche Eigenschaften und Gesetze unseres Universums. Eine der grundsätzlichen Forderungen ist die Forderung nach Kontinuität und Differenzierbarkeit von Raum und Zeit. Sogenannte Singularitäten, also Punkte, Linien oder Flächen im Raum, an denen die Differenzierbarkeit nicht gegeben ist, an denen einzelne physikalische Größen unendlich oder undefinierbar werden, kann es nicht geben. Wie soll der Drehimpulserhaltungssatz an Stellen gelten, an denen kein Drehimpuls definierbar ist? Wie sollen sich elektromagnetische Wellen an Stellen ausbreiten, wo die Maxwell'schen Gesetze nicht gelten? Wie soll eine Kraftwirkung beschrieben werden, wenn eine Beschleunigung nicht definierbar ist? Die Zulassung von Singularitäten wäre eine Abkehr von dem allgemein anerkannten Grundsatz, daß die uns bekannten physikalischen Gesetze im gesamten Universum gelten. Auch in schwarzen Löchern!

Auch einige Erhaltungsgesetze resultieren direkt aus den beschriebenen Eigenschaften des Raumes.

Der Raum um uns erfordert auf Grund der Symmetrie aus Translation und Rotation 3 geometrische Dimensionen. Es wurde noch nie eine Verletzung des Energieerhaltungssatzes beobachtet, insofern finden auch alle Ereignisse und Wirkungen nur im 3-dimensionalen Raum statt.

Nachdem wesentliche Gesichtspunkte der Natur des Raumes erklärt wurden, soll nun auf die Natur der Zeit weiter eingegangen werden. Dazu müssen jedoch zuerst noch einige weitergehende erläuternde Betrachtungen gemacht werden.

## **6. Das Kausalitätsprinzip**

Die Physik war schon immer sehr eng mit der Philosophie und mit dem allgemeinen Weltbild der Menschen verbunden. Eine der ganz großen Leistungen der Philosophie mit wesentlichem Einfluß auf die Physik ist die Entwicklung des atomistischen Weltbildes durch Demokrit ( ca. 400 v.u.Z. ). Damals konnte noch niemand Atome sichtbar machen oder anders nachweisen. Dieses Weltbild wurde aus rein philosophischen Prinzipien geboren. Auch Albert Einstein mit seiner Relativitätstheorie ist ein gutes Beispiel für die Wechselwirkung zwischen der Physik und der Philosophie. Die Einführung einer maximalen Ausbreitungsgeschwindigkeit von energetischen Wirkungen, die maximale Energietransportgeschwindigkeit ist die Lichtgeschwindigkeit. Und diese Naturkonstante Lichtgeschwindigkeit ist überall konstant. Diese Verbindung zwischen Philosophie und Physik soll nur deshalb hervorgehoben werden, weil für die Untersuchung der Zeit ebenfalls ein philosophisches Prinzip in der Physik angewendet werden muß: das Kausalitätsprinzip.

Das Kausalitätsprinzip sagt aus, daß es einen gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung gibt. Jede Ursache hat ihre gesetzmäßige Wirkung ! Ziel aller naturwissenschaftlichen

Arbeit ist es, Modelle der Natur zu erschaffen, in denen gerade dieser Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung dargelegt und möglichst auch erklärt wird. Jeder, der behauptet, es gäbe andere, als Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge in der Natur, braucht sich nicht weiter mit der Naturwissenschaft zu befassen, er kann dann prinzipiell keinen reproduzierbaren Vorgang in der Natur untersuchen. Denn neben dem Ursache-Wirkungs-Zusammenhang, den er untersucht, müßte er immer auch den Einfluß jener Macht von Außen, die er postuliert und die er nicht kennt, untersuchen. Derjenige kann sich nur noch mit Okkultismus, Glaube und Religion befassen. Jeder Naturwissenschaftler untersucht immer nur Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge. Und ein neues Modell der Natur, auch in Teilbereichen, wird nur dann von den Wissenschaftlern akzeptiert, wenn es reproduzierbar ist, also gleiche Ursachen zu gleichen Wirkungen führen.

Weiterhin ist es kein Verstoß gegen das Kausalitätsprinzip, wenn eine Ursache eine von mehreren möglichen Wirkungen hat. In diesem Fall wird die wirklich eintretende Wirkung scheinbar zufällig ausgewählt und durch Wahrscheinlichkeitsgesetze bestimmt (im atomaren Bereich der Physik, Quantenphysik). Man kann allerdings auch vermuten, daß ein noch unbekannter Ursache-Wirkungs-Zusammenhang die Auswahl der möglichen Wirkungen bestimmt. Ein ganz wesentlicher Grundsatz des Kausalitätsprinzips ist, daß die Wirkung immer erst nach dem Vorhandensein der Ursache eintreten kann.

Ein Beispiel: Auf einem Billardtisch liegt eine Billardkugel. Stößt man die Billardkugel an, so wird sie sich bewegen, und zwar entsprechend den Gesetzen der Physik in genau vorherbestimmbarer Art und Weise. Ursache ist die Kraft, die beim Stoß auf die Kugel gewirkt hat, Wirkung ist die Bewegung der Kugel. Und es ist auch unsinnig, Ursache und Wirkung zu vertauschen. Wenn der Stoß nicht zu stark war, rollt die Kugel ein Stück und bleibt dann wieder liegen. Ursache ist die Reibung der Kugel beim Rollen,

Wirkung ist die Abbremsung der Kugel bis zum Stillstand. Eine Vertauschung von Ursache und Wirkung wäre auch hier unsinnig.

In diese Betrachtung von Ursache und Wirkung können auch physikalische Kraftfelder einbezogen werden. Ein Kraftfeld beschreibt die räumliche Verteilung einer Kraftwirkung, das Gravitationsfeld auf Massen, das elektrische Feld auf Ladungen, und das magnetische Feld auf magnetische Dipole oder bewegte elektrische Ladungen. Eine positive elektrische Ladung bewegt sich in einem elektrischen Feld auf die negative Ladung zu. Man kann nun sagen, Ursache der Bewegung der positiven Ladung auf die negative Ladung zu ist das elektrische Kraftfeld, und Wirkung ist die Bewegung. Zur Berechnung der Bewegung der positiven elektrischen Ladung benötigt man nur Angaben zum elektrischen Feld, die Ursache des elektrischen Feldes muß nicht bekannt sein. Ebenso hat ein Magnetfeld Wirkungen auf bewegte elektrische Ladungen und auf magnetische Dipole. Das Gravitationsfeld wirkt auf alle Massen, und da auch jede elektrische Ladung und jeder magnetische Dipol eine Masse hat in geringem Umfang auch auf elektrische Ladungen und magnetische Dipole.

Auch hierzu wieder ein Beispiel. Auf eine waagerechte ebene Glasplatte wird eine Stahlkugel gelegt. Unter die Glasplatte, in die Nähe der Stahlkugel legt man einen Magneten. Die Stahlkugel wird jetzt zum Magneten rollen. Ursache für die Bewegung der Kugel ist die Kraftwirkung des Magnetfeldes des Magneten auf die Stahlkugel, Wirkung ist die Bewegung der Kugel. Zur Beschreibung der Bewegung der Kugel benötigt man eine Beschreibung des Magnetfeldes, die Beschreibung des Magneten selbst benötigt man nicht. Nachdem der Magnet unter der Glasplatte ist, wird die Kugel ein paar mal hin- und herrollen und dann genau über dem Magneten liegenbleiben. Für die Abbremsung der Kugel gibt es sogar zwei Ursachen, die Wirkungen der beiden Ursachen summieren sich. Einmal ist da wieder die Reibung der Kugel beim Rollen auf der Glasplatte und zum anderen werden durch die Bewegung der Kugel



im Magnetfeld in der Kugel Wirbelströme induziert, die ebenfalls zur Abbremsung der Kugel beitragen.

Wie eben erklärt wurde, dienen physikalische Kraftfelder zur Beschreibung der Kraftwirkungen zwischen Körpern. Diese Felder haben eine endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit, die Lichtgeschwindigkeit. Die uns bekannten Wirkungen können sich maximal mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Das heißt, je größer der örtliche Abstand zwischen Ursache und Wirkung ist, desto größer ist auch die Zeitdauer zwischen Ursache und Wirkung. Für uns trat die Wirkung in den eben beschriebenen Beispielen sofort ein. Das lag an dem geringen Abstand zwischen Ursache und Wirkung und der großen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wirkung. Die Lichtgeschwindigkeit ist bis heute die größte bekannte Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wirkungen. Es gibt aber auch wesentlich kleinere Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Wirkungen, zum Beispiel die Schallgeschwindigkeit. Die Zeit, die zwischen Ursache und Wirkung liegt, ist durch den geometrischen Abstand von Ursache und Wirkung und die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wirkung festgelegt und absolut reproduzierbar.

Ein Beispiel für die Ausbreitung von Wirkungen mit unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten ist der Blitzschlag. Während man den Blitz auf Grund der hohen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes scheinbar sofort und vollständig sieht, hört man den Donner auf Grund der geringen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls im allgemeinen einige Sekunden später und als langanhaltendes Grollen, denn die Schallwellen die über die Länge des Blitzschlages erzeugt wurden, treffen nicht alle gleichzeitig bei uns ein.

Bei den genannten Beispielen von Wirkungen fand immer ein Energietransport statt. Auf die Billardkugel des ersten Beispiels wurde durch einen Stoß Energie übertragen. Diese Energie wurde von der Billardkugel an den Samtstoff der Lauffläche durch die Rollreibung als Wärmeenergie weitergegeben. Auch die Billardkugel

erwärmt sich minimal durch die Rollreibung. Auf die Stahlkugel des zweiten Beispiels wird durch das Magnetfeld Energie übertragen, durch die Induktion von Wirbelströmen und durch die Rollreibung wird diese Energie in Wärme umgesetzt. Beim Blitzschlag wird die elektrische Energie der Wolken in elektromagnetische Wellen, Wärme und Schall umgewandelt. Auch dabei findet ein Energietransport statt. Und jeder, der schon einmal einen Blitzschlag aus der Nähe beobachtet hat, kann bestätigen, wie eindrucksvoll, ja geradezu erschreckend, die Energie des Blitzschlages ist.

Zusammenfassend kann man sagen: Wirkungen breiten sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ausgehend von der Ursache im Raum aus. Wirkungen mit Energietransport können sich maximal mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.

Auch der radioaktive Zerfall der Atome ist eine Folge von Ursache-Wirkungs-Vorgängen. Eine der Ursachen für den radioaktiven Zerfall ist die Struktur des zerfallenden Atoms. Wann ein bestimmtes Atom radioaktiv zerfallen wird, ist aber bis heute nicht möglich zu ermitteln. Ja es ist aus heutiger Sicht nicht einmal möglich, die durchschnittliche Geschwindigkeit des Zerfalls zu beeinflussen. Allerdings hat man bisher auch noch längst nicht alle Möglichkeiten ausprobiert. Trotzdem ist das ein normaler Ursache-Wirkungs-Zusammenhang. Bei einer bestimmten Struktur des Atomkerns zerfällt immer genau dieselbe Menge der vorhandenen Atome in einer bestimmten Zeit. Man kann das vergleichen mit einem Wassermolekül in einer Pfütze. Wann ein bestimmtes Wassermolekül verdunsten wird, kann man nicht ausrechnen, trotzdem kann man ausrechnen, wieviel Wasser in einer bestimmten Zeit verdunstet, wenn man die Temperaturen von Luft und Wasser, den Luftdruck, die Luftfeuchtigkeit und die Windgeschwindigkeit kennt. Man sieht also, es kann durchaus notwendig sein, statistische Aussagen über einen Vorgang zu machen, trotzdem sind das auch ganz normale Ursache-Wirkungs-Vorgänge.

## 7. Kausalketten im Raum

Ein einziger Ursache-Wirkungs-Zusammenhang ist nie alleine vorhanden. Die Wirkung einer Ursache ist selbst wieder Ursache für eine weitere Wirkung und diese Wirkung ist wiederum Ursache für weitere Wirkungen.

Diese Ursache-Wirkungs-Kette kann man aus heutiger Sicht fast unendlich fortsetzen und wird als Kausalkette bezeichnet. Dabei kann eine Ursache durchaus auch aus mehreren Bestandteilen bestehen. Deshalb können mehrere Wirkungen zusammen wieder Ursache für einen neuen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang sein. Auf diese Weise sind fast alle Kausalketten in unserem Universum miteinander verbunden. Man kann auch sagen, die Kausalketten sind wie ein Stoff miteinander verwebt. Es gibt also einen regelrechten Teppich aus miteinander verbundenen Kausalketten.

Ein sehr anschauliches Beispiel für Kausalketten ist das Billardspiel. Man stößt eine Kugel an, die angestoßene Kugel stößt eine weitere Kugel an, und die zuletzt angestoßene Kugel fällt dann beim Poolbillard möglicherweise ins Loch. Der Lauf der Kugeln ist dabei eine sehr anschauliche Darstellung der Ausbreitung von Wirkungen im Raum. Und auch dafür, wie eine Wirkung wieder Ursache für eine weitere Wirkung sein kann.

In unserem Beispiel vom Blitzschlag wäre eine Wirkung des Blitzschlags das Blitzleuchten selbst, der Donner, und falls der Blitz in ein Haus einschlägt, möglicherweise defekte elektrische Geräte und Beleuchtungen oder sogar ein Brand. Eine Wirkung des Donners ist das Erschrecken der Menschen im näheren Umkreis und, möglicherweise, das Zerschlagen von Fensterscheiben an dem Haus, in das der Blitz eingeschlagen hat. In die zerbrochenen Fenster kann der nachfolgende Starkregen hineinregnen und die Tapete unter dem Fenster aufweichen.

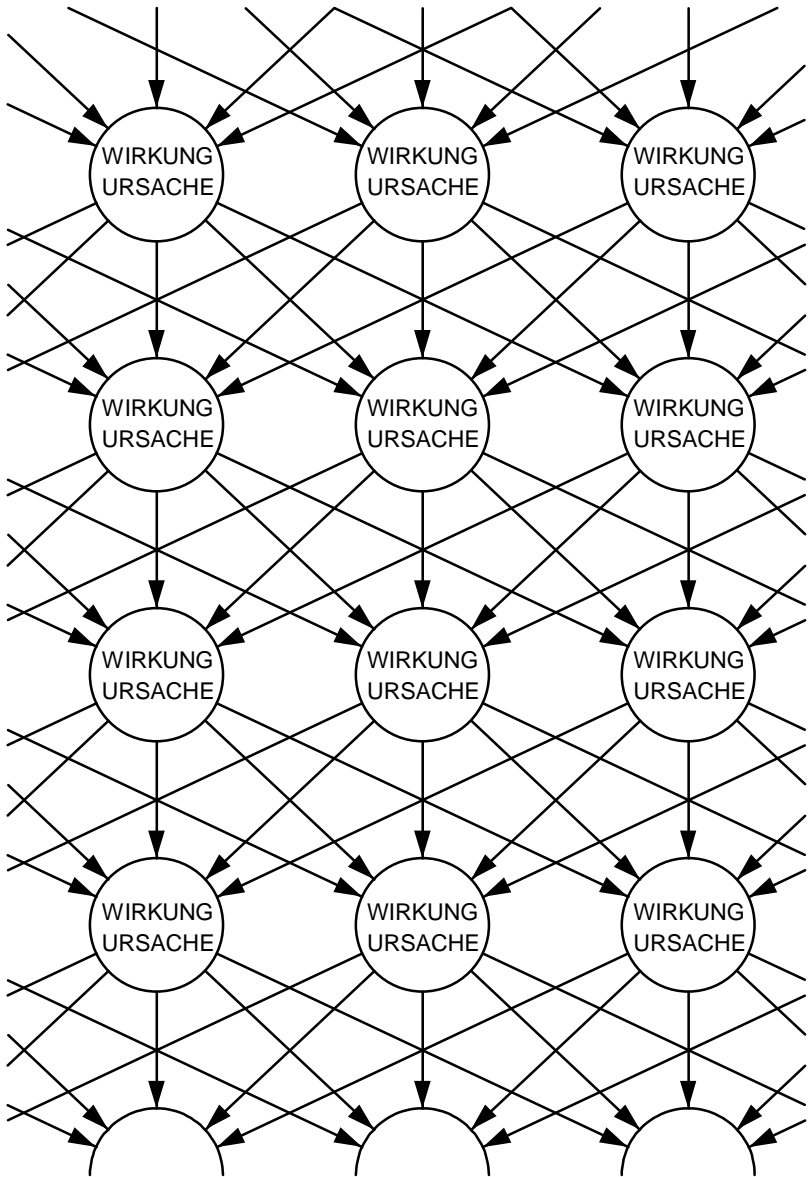


Bild 1 : modellhafte Darstellung des Teppichs aus Kausalketten  
 Der Zeitablauf im Bild ist von oben nach unten. Wichtig ist nicht, welche Ursache welche Wirkung beeinflusst, sondern, daß die Wirkung immer nur in Richtung des Zeitablaufes (nach unten) erfolgen kann.

## 8. Was ist Zeit ?

Die Ursache einer Wirkung muß immer vor der Wirkung selbst vorhanden sein. Die Wirkung selbst ist wieder Ursache für weitere Wirkungen. Auf diese Weise legt das Ursache-Wirkungs-Prinzip eine Reihenfolge von kausal miteinander verbundenen Ereignissen fest. Diese definierte Reihenfolge von Ereignissen im Zusammenhang mit der räumlichen Verteilung der Ereignisse und der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wirkungen, legt unseren Zeitablauf fest. Man kann sagen, der Ablauf der Zeit ist nichts weiter als der ständige Ablauf von Kausalketten im Raum. Dabei ist nicht so wichtig, daß die Lichtgeschwindigkeit die maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit ist, sondern daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wirkungen endlich ist, und sich auf diese Weise eine Reihenfolge von Ereignissen ergibt. Somit ist auch klar, solange es Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge gibt, läuft auch die Zeit ständig ab. Da Ursache-Wirkungs-Beziehungen nicht umkehrbar sind, kann die Zeit auch nie rückwärts ablaufen. Weil die Ursache immer vor der Wirkung vorhanden sein muß, kann man auch auf die Vergangenheit nie einwirken sondern nur auf die Zukunft. Auch frei bewegen kann man sich nicht in der Zeit, denn auch das wäre ein Verstoß gegen das Kausalitätsprinzip. Zeit läuft nur einfach ab, wie Kausalketten ablaufen. Wir sind diesem Zeitablauf ausgesetzt und können höchstens den Zeitablauf in einzelnen Bereichen unterschiedlich schnell gestalten. Selbst wenn man für eine gewisse Zeit alle kausalen Wirkungsmöglichkeiten zwischen zwei Systemen auftrennen könnte, so würde doch in beiden Systemen die Zeit voranschreiten, nur über die Geschwindigkeit des Zeitablaufs in beiden Systemen kann man ohne weitere Informationen nichts aussagen.

Es gibt in der uns bekannten Welt keinen Teil der Welt, der nicht durch Ursache-Wirkungs-Vorgänge mit der anderen Welt verbunden wäre. Auch das Innere von Schwarzen Löchern ist über derartige Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge mit der Außenwelt verbunden.

Das Hineinstürzen von Materie in ein Schwarzes Loch muß für einen Beobachter im Inneren des Schwarzen Lochs wahrnehmbar sein, die Gravitationswirkung der Materie im Inneren des Schwarzen Lochs ist auch außerhalb des Schwarzen Lochs wahrnehmbar. Daraus folgt, daß in allen Teilen des uns bekannten Universums die Zeit abläuft.

Man kann sogar noch weitergehen. Man kann sogar sagen, in der Natur, in der immer Ursache-Wirkungs-Vorgänge ablaufen, gibt es immer einen Zeitablauf. Es ist sinnlos, zu behaupten zur Zeit des Urknalls hätte es keinen Raum und keine Zeit gegeben, denn dann hätte es auch keine Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge geben können. Zur Zeit des Urknalls muß unser Universum eine Struktur ähnlich wie ein Schwarzes Loch gehabt haben. Auch wenn der Beobachter innerhalb des Schwarzen Lochs nach bisheriger Sichtweise die Außenwelt nicht wahrnehmen kann, er kann ja nur den Materieeinfall in das Schwarze Loch wahrnehmen, existiert ein Raum außerhalb des Schwarzen Lochs und ein Zeitablauf innerhalb und außerhalb des Schwarzen Lochs. Und genau so kann man sich auch die Situation beim Urknall vorstellen. Wenn man behaupten würde, der Urknall selbst oder die Ereignisse davor oder danach sind keine Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge begibt man sich auf den Weg von der Naturwissenschaft zur Religion. Denn was soll dann noch Ursache der Ereignisse sein als die Vorsehung oder ein Gott. Wir kennen die Ursachen für den Urknall und die Ereignisse davor nicht, das heißt aber noch nicht, daß es keine Ursache für diese Ereignisse gibt.

Es ist erstaunlich, wie wichtig die Klärung der Begriffe Raum und Zeit sind. Und welche tiefgreifenden Schlußfolgerungen für unser allgemeines Weltbild sich aus diesen Begriffen ergeben. Sogar die Weltanschauung ist davon betroffen.

Ein Indiz für die universelle Bedeutung der Lichtgeschwindigkeit als maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wirkungen ist die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, unabhängig vom Bewegungszustand des Beobachters. Dieser Denkansatz ist Grundlage von

Albert Einsteins Relativitätstheorie. Und die Folgerungen der Relativitätstheorie wurde inzwischen ja häufig bestätigt.

Da die Zeit nur eine Reihenfolge von Ereignisabfolgen ist, kann es auch nur eine einzige zeitliche Dimension geben.

## **9. Wie mißt man Zeit ?**

Für uns Menschen ist es heute wichtig, die Zeit messen zu können. Ohne präzise Zeitmessung ist es nicht möglich, ein genaues Modell der Vorgänge in der Natur zu entwerfen und auch zu überprüfen. Und auch zur Organisation unserer täglichen Tätigkeiten benötigen wir heute genaue Zeitangaben. Um rechtzeitig zur Arbeit zu erscheinen, um sich mit anderen zu treffen, oder auch nur, um mit dem Zug oder dem Bus eine Fahrt zu machen.

Da die Zeit der ständige Ablauf von Kausalketten ist, kann man die Zeit natürlich besonders gut durch sich periodisch wiederholende Vorgänge, die kausal miteinander verbunden sind, messen. Im Allgemeinen geht ein schwingungsfähiges Gebilde dabei periodisch von einem Zustand 1 in den einen Zustand 2 und von dem Zustand 2 in den Zustand 1 über. Dabei ist der Zustand 1 Ursache für Zustand 2 und der Zustand 2 ist Ursache für Zustand 1. Je weniger Störeinflüsse es dabei gibt um so genauer ist die Zeitmessung. Da bei der Schwingung des Systems aber immer Energie verloren geht und auch zum Zählen der Schwingungen Energie ausgekoppelt werden muß, ist zur Aufrechterhaltung der Schwingung eine ständige Energiezufuhr nötig.

Ein Beispiel: Bei einer Pendeluhr schwingt das Pendel hin und her. In der seitlichen Endlage des Pendels kehrt sich die Bewegung des Pendels um. Im Augenblick der Bewegungsumkehr steht das Pendel still, es bewegt sich nicht. Das Pendel hat in diesem Augenblick die größte potentielle Energie (Lageenergie), aber, da es sich ja nicht

bewegt, keinerlei kinetische Energie (Bewegungsenergie). Durch die Schwerkraft, die auf das Pendel wirkt, bewegt es sich wieder zurück zur Mitte. Dabei wird potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Wenn das Pendel senkrecht nach unten hängt, hat es keinerlei potentielle Energie aber dafür die größte kinetische Energie. Das Pendel schwingt über diese Senkrechte hinaus und wird wieder langsamer bis es die andere Endlage erreicht hat. Dabei wird die kinetische Energie wieder in potentielle Energie umgewandelt. Die Pendelschwingung wurde in den Pendeluhrn lange Zeit zur Zeitmessung eingesetzt. In einer Pendeluhr wird dem Pendel ständig Energie zugeführt, so daß es nicht aufhört zu schwingen. Außerdem werden die Pendelschwingungen mit einem Räderwerk gezählt und angezeigt.

Auf Pendeluhrn wirken eine ganze Reihe von Störfaktoren. Die Pendelschwingung ist von der Pendellänge, der Schwerkraft und dem Pendelausschlag abhängig. Man kann sogar die thermische Ausdehnung des Pendels als Verlangsamung des Pendels nachweisen, da die Zeitmessung mit dem astronomischen Zeitnormal, der Erddrehung, sehr genau verglichen werden kann.

Eine Pendeluhr ist in Betrieb nicht transportabel. Deshalb haben findige Uhrmacher die Taschenuhr und die Armbanduhr erfunden. Früher hatten diese Uhren einen Federdrehschwinger, Unruh genannt, der analog zum Pendel, aber schwerkraftunabhängig funktionierte. Auch diesem Federdrehschwinger wurde über ein Räderwerk ständig Energie zugeführt, und die Schwingungen wurden über das selbe Räderwerk zur Anzeige der Zeit gezählt. Heute haben die meisten Uhren Quarzschwinger und eine Elektronik zum Zählen der Schwingungen. Bei den analog anzeigenden Uhren wird auch heute noch ein Räderwerk zur Anzeige der Uhrzeit benutzt.

Für hochgenaue Uhren werden heute Elektronenübergänge zwischen Energieniveaus in Atomen als Zeitnormal benutzt. Die Atome strahlen beim Übergang der Elektronen vom oberen zum unteren Energieniveau sehr konstante elektromagnetische Wellen



aus. Durch Zählung dieser Schwingungen kann man sehr genau die Zeit messen. Diese Uhren sind recht aufwendig und teuer, deshalb werden solche Atomuhren nur dort eingesetzt, wo die hohe Genauigkeit erforderlich ist.

Früher erfolgte die Zeitmessung nur, um das natürliche Zeitintervall, den Tag, noch weiter zu unterteilen. Diese Unterteilung wurde zur Tagesplanung verwendet. Heute benötigt man zur Betrachtung von Vorgängen in unserer Umwelt eine wesentlich kleinere Zeiteinheit. Man stelle sich vor, zur Geschwindigkeitsmessung müßte man ein Auto einen Tag lang fahren lassen. Sehr unzweckmäßig. Die Genauigkeit der Uhren machte es früher erforderlich, die Uhr regelmäßig mit dem astronomischen Zeitnormal, der Erddrehung, zu synchronisieren. Heutige Atomuhren sind sehr genau, viel genauer als das astronomische Normal. Deshalb wird heute als Zeitnormal eine Gruppe von Atomuhren benutzt. Bei Abweichung der Erddrehung von diesem Zeitnormal werden Schaltsekunden in die Zeitzählung eingefügt. Weil sich die Erddrehung ganz allmählich, aber meßbar verlangsamt, müssen immer nur Schaltsekunden eingefügt werden.

## **10. Einige Betrachtungen zu modernen Darstellungen von Raum und Zeit**

In den folgenden drei Kapiteln wird es nun doch ein wenig physikalisch. Aber für viele Menschen, die doch etwas Interesse für Physik haben, sind auch diese Kapitel wichtig. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit einigen Darstellungsformen von Raum und Zeit und anderen physikalischen Größen.

Überspitzt könnte man sagen, ich bin  $5,6 \cdot 10^{17}$  m alt, 1,80 m groß und  $7,4 \cdot 10^{-26}$  m schwer. Diese Maßangaben sind zwar korrekt, ein normaler Mensch kann damit aber nichts anfangen. Einige Physiker stellen Dinge aber leider manchmal in vergleichbarer Weise dar.

Ich habe in dem Beispiel oben den Wirkungsradius als Zeitangabe und den Gravitationsradius als Massenangabe benutzt. Diese beiden Längenangaben repräsentieren direkt die Zeit und die Masse über die Gleichungen:

$$(10.1) \quad r_W = c \cdot t \quad (\text{Wirkungsradius})$$

$$(10.2) \quad r_G = \frac{G \cdot m}{c^2} \quad (\text{Gravitationsradius})$$

Dabei ist  $c$  die Lichtgeschwindigkeit,  $G$  die Gravitationskonstante,  $t$  die Zeit und  $m$  die Masse. Es ist also durchaus möglich eine Masse oder eine Zeit durch eine Längenangabe zu repräsentieren. Sinnvoll ist das aber meistens nicht.

Jedes Schulkind lernt als Dogma, in der Physik muß man mit Maßzahl und Maßeinheit rechnen. Das ist ein Dogma, und für die Kontrolle der Korrektheit der Rechnung auch unbedingt notwendig. Die Gurus können natürlich auch anders. Der Artist kann auch freihändig radfahren. Im normalen Straßenverkehr wird er das meist nicht tun, weil sich das Risiko eines Sturzes auch für den Artisten erhöht. Und genau so sollte man das auch mit den Angaben in der Physik halten, eine Zeit sollte als Zeit erkennbar und eine Masse als Masse erkennbar bleiben. Wenn ich in einem von mir sehr geschätzten Werk aber von geometrisierten Maßeinheiten lese, und da steht tatsächlich :  $G = c = 1$ , dann würde das jedem Schüler als falsch angekreidet ! Für die Maßzahlen mag die Gleichung oben zutreffen für die Maßeinheiten nicht ! Hier sieht es doch sehr nach Guru aus. Die Gravitationskonstante  $G$  ist keine Geschwindigkeit, und die Lichtgeschwindigkeit ist nicht einheitenlos, sondern hat die Maßeinheit Strecke je Zeiteinheit ! Die Angabe von Maßeinheiten ist auch problematisch, denn um die Naturkonstanten zu normieren, ist es notwendig, alle Maßeinheiten zu verändern. Ich schlage vor, die normierten Einheiten durch einen Unterstrich zu kennzeichnen. Damit wäre  $c = 1 \underline{m} / \underline{s}$  (1 Normmeter je Normsekunde) und  $G = 1 \underline{m}^3 / \underline{kg} \underline{s}^2$ . Da nicht jeder die Umrechnung zwischen  $m$  und  $\underline{m}$ ,

s und  $\underline{s}$ , und kg und  $\underline{kg}$  selber ausrechnen kann, sollte man auch die Umrechnungsfaktoren zu den normierten Maßeinheiten angeben.

Die physikalischen Gleichungen sind invariant gegenüber Veränderungen der Maßeinheit. Eine physikalische Gleichung funktioniert unabhängig davon, ob man mit Meilen, Zoll, Meter oder Neumeter rechnet, lediglich Proportionalitätsfaktoren wie G oder c ändern sich. Man kann Maßsysteme angeben, bei denen einige der Proportionalitätsfaktoren sehr einfache Werte annehmen. Wenn ich beispielsweise ein Neumeter definieren würde zu :

$$(10.3) \quad 1 \text{ m}_N = 299\,792\,458 \text{ m} \quad (1 \text{ Neumeter} = \dots)$$

dann ergibt sich die Lichtgeschwindigkeit zu :

$$(10.4) \quad c = 1 \text{ m}_N / \text{s} \quad (1 \text{ Neumeter pro Sekunde})$$

Die Lichtgeschwindigkeit ist dann nicht 1 sondern  $1 \text{ m}_N / \text{s}$  ! Es würden sich aber auch viele andere Proportionalitätsfaktoren ändern und meine eigene Größe wäre nur noch  $6 \cdot 10^{-9} \text{ m}_N$  (=  $6 \text{ nm}_N$ , 6 Nanoneumeter). Für unsere menschlichen Belange würden wir also immer im Mikro- Nano- oder Piko-Neumeterbereich messen. Nur im astronomischen Bereich ergäben sich vernünftige Zahlen. Der Mond wäre etwa  $1,3 \text{ m}_N$  von der Erde entfernt. Für uns Menschen hier auf der Erde ist dieser Maßstab daher unzweckmäßig.

Bei einigen physikalischen Größen ist es möglich, mit Verhältnisangaben zu arbeiten. Zum Beispiel kann man alle Geschwindigkeitswerte im Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit darstellen. Dann würde die Geschwindigkeit eines Autos mit  $4,63 \cdot 10^{-8} c$  ( $c = \text{Lichtgeschwindigkeit} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) angegeben. Auch diese Angabe ist für uns Menschen sehr unzweckmäßig.

In den vorhergehenden Kapiteln wurde gezeigt, daß die Zeitangaben genau wie die drei Ortsangaben Koordinaten sind. Daher sind Physiker auf den Gedanken gekommen, diese 4 Koordinaten zusammenzufassen. Dabei wird die Zeit über den Wirkungsradius in eine Länge umgerechnet. Es ergeben sich also

Vierervektoren bei denen alle Elemente die Dimension Meter besitzen. Eine Koordinate würde dann lauten  $\vec{p}(x; y; z; -c \cdot t)$ . Man spricht dabei auch von Raumzeit oder Minkowski-Raum. Über diese Vierervektoren kann man einige physikalische Gesetze zusammenfassen und sehr verkürzt aufschreiben. Allerdings ist diese Schreibweise für Außenstehende unverständlich, und setzt zum Verständnis unter anderem Tensorrechnung (Matrixoperationen) voraus. Bei manchen Autoren hat man den Eindruck, ihnen ist gar nicht mehr bewußt, daß die letzte der vier Koordinaten der Wirkungsradius, und nicht die Zeit ist. Die Zusammenfassung der Koordinaten zu Vierervektoren darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß es Unterschiede zwischen der zeitlichen Koordinate und den räumlichen Koordinaten gibt. Es ist zwar nicht falsch, aber doch sehr verwirrend zu behaupten, die Raumzeit würde sich ausdehnen, oder man würde in der Raumzeit treiben, nur weil die Zeit vergeht. Wenn die Zeit vergeht wächst zwar der Wirkungsradius, die geometrische Entfernung zweier ruhender Objekte wächst erfahrungsgemäß aber nicht. Durch Aussagen dieser Art werden die Unterschiede zwischen den räumlichen Koordinaten und der zeitlichen Koordinate verwischt. In der Raumzeit kann man sich **nicht** frei bewegen ! In der Raumzeit kann man sich nicht einmal an einem festen Punkt aufhalten, durch das Vergehen der Zeit wird man zwangsweise durch die Raumzeit bewegt. In der Raumzeit ist keinerlei Rotation um einen festen Punkt möglich. Jede Rotation ist nur als Spiralbewegung, also einer Zusammensetzung aus Translation und Rotation möglich. Damit gehen in der vierdimensionalen Raumzeit die grundsätzlichen Symmetrieeigenschaften des dreidimensionalen Raumes (Translation - Rotation, siehe Kapitel 3 und 4) verloren.

In der Relativitätstheorie, in der Raum und Zeit von der vorhandenen Masse und der Geschwindigkeit zum Beobachter abhängen, mag diese Schreibweise mit Vierervektoren eine gewisse Berechtigung haben. Wir bleiben hier bei der gewöhnlichen Schreibweise, in der erkennbar bleibt, daß eine Länge, eine Zeit oder eine Masse gemeint ist.

## 11. Warum ist in vielen physikalischen Gleichungen die Zeit umkehrbar ?

In der Physik gibt es seit einiger Zeit eine Mode: alles was die mathematische Modellierung eines physikalischen Zusammenhangs zuläßt, wird für möglich gehalten. Dabei muß man sich aber darüber im Klaren sein: Die mathematische Gleichung, die einen physikalischen Zusammenhang beschreibt, ist ein Modell der Natur ! Und die Grenzen dieses Modells muß man kennen. Als Gedankenspiel ist es ein sehr gutes Training, den Inhalt eines mathematischen Zusammenhangs auszuloten. Man muß sich aber vor übereilten Schlußfolgerungen hüten, und wirklich sehr genau überlegen, wo die Grenzen des Modells liegen und was aus dem beschriebenen Zusammenhang folgert, was dieser Zusammenhang wirklich ausdrückt.

Ein Naturwissenschaftler ist bemüht, die Natur in modellhaften Beispielen erklärbar zu machen. Diese Modelle erklären einen bestimmten Ursache-Wirkungs-Zusammenhang. Der Ursache-Wirkungs-Zusammenhang wird zur quantitativen Bewertung häufig mit einer mathematischen Gleichung ausgedrückt. Interessant ist, daß viele physikalische Gleichungen, die derartige Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge beschreiben unabhängig von der Zeitrichtung sind. Das betrifft sogar Gleichungen, in denen die Zeit selbst Bestandteil der Gleichung ist. Deshalb haben Physiker den Begriff des Zeitpfeils erfunden, um anzudeuten, daß es Vorgänge gibt, bei denen das physikalische Gesetz den Ablauf der Zeit in beiden Richtungen zuläßt. Aber kann man wirklich daraus folgern, daß der Zeitablauf in beiden Richtungen möglich ist ?

Am Beispiel des Trägheitsgesetzes sollen hier die Möglichkeiten zur Auslegung von mathematischen Gleichungen untersucht werden. Das Trägheitsgesetz beschreibt eine grundlegende Eigenschaft der Masse: ihre Trägheit. Eine Masse verharrt so lange in ihrem Bewegungszustand, bis eine Kraft auf diese Masse den

Bewegungszustand ändert. Die mathematische Form dieses Trägheitsgesetzes wird durch die Gleichung

$$(11.1) \quad F = m \cdot a \quad (\text{Kraft} = \text{Masse} \cdot \text{Beschleunigung})$$

ausgedrückt. Die Gleichung 11.1 beschreibt den Zusammenhang zwischen einer Kraft und der Beschleunigung einer Masse. Es ist ein eindeutiger Ursache-Wirkungs-Zusammenhang. Die Kraft ist immer die Ursache, die Änderung des Bewegungszustandes der Masse, die Beschleunigung der Masse ist immer die Wirkung.

Zunächst noch ein Wort zu dem Begriff „Beobachter“. Ein Beobachter ist in der Physik nie unbeteiligt, der Beobachter muß mit der zu beobachtenden Erscheinung wechselwirken. Ohne Wechselwirkung kann er die Eigenschaften der zu beobachtenden Erscheinung nicht ermitteln. Man könnte den Beobachter daher auch Experimentator nennen, ich möchte an dieser Stelle aber bei der Bezeichnung „Beobachter“ bleiben. Die Art der Wechselwirkung kann sehr unterschiedlich sein. Die Beobachtung der von einem großen Objekt ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen ohne praktische Rückwirkung ist eine mögliche Wechselwirkung. Wenn man den Ort eines einzelnen Atomes bestimmen möchte, ist die Wechselwirkung mit dem Atom möglicherweise schon so stark, daß sich das Atom nach der Wechselwirkung nicht mehr an dem bestimmten Ort befindet. Noch schwieriger ist die Bestimmung der Masse eines einzelnen Atoms oder Moleküls.

Und nun zurück zum Trägheitsgesetz. Wenn man zum Beispiel einen sehr gut rollenden Wagen auf ebener Strecke durch die Kraft eines Beobachters beschleunigt, ergibt sich das Bild, daß sich der anfangs stehende Wagen in Bewegung setzt. Bei Umkehrung der Zeitrichtung ergibt sich das Bild, daß ein rollend ankommender Wagen durch die Kraft des Beobachters zum Stillstand abgebremst wird. Die Gleichung 11.1 zwischen Kraft und Beschleunigung gilt in beiden Fällen in gleicher Weise, sogar Betrag und Richtung des Kraftvektors und des Beschleunigungsvektors sind in beiden Fällen

gleich. Die Gleichung 11.1 ist also unabhängig von der Richtung des Zeitablaufs gültig. Darf man daraus nun schlußfolgern, daß der Zeitablauf in beiden Richtungen wirklich möglich ist ?

Die Gleichung 11.1 beschreibt die Geschwindigkeitsänderung einer Masse in Abhängigkeit von der auf sie einwirkenden Kraft. Der Vorgang der Beschleunigung oder der Abbremsung des Wagens ist eine Änderung des Bewegungszustandes des Wagens, der Geschwindigkeit des Wagens. Ob die Geschwindigkeit zunimmt oder abnimmt ist eine Frage des Beobachterstandpunktes. Ein neben dem Wagen ruhender Beobachter empfindet die Beschleunigung des Wagens als Zunahme der Geschwindigkeit und der Bewegungsenergie, und das Abbremsen des Wagens als Abnahme der Geschwindigkeit und der Bewegungsenergie. Der Energieumsatz ist auch zu bemerken, beim Beschleunigen des Wagens muß einem Antriebsmotor Energie zugeführt werden und beim Abbremsen wird die Bewegungsenergie des Wagens in der Bremse in Wärme umgesetzt. Ein Beobachter, der sich gleichmäßig und genau so schnell, wie der Wagen beschleunigt werden soll, (auf einem Beobachterhilfswagen mit sehr großer Masse) auf den Wagen zu bewegt, empfindet den Vorgang genau umgekehrt. Der selbe Vorgang, den der ruhende Beobachter als Beschleunigung empfindet, und der für den ruhenden Beobachter mit Energieaufwand verbunden war, ist für den sich bewegenden Beobachter eine Abbremsung, und wenn der sich bewegende Beobachter den Vorgang ausführt, auch mit Energiefreisetzung verbunden. Und den selben Vorgang, den der ruhende Beobachter als Abbremsung empfindet, sieht der sich bewegende Beobachter als Beschleunigung und der sich bewegende Beobachter muß Energie aufwenden, um den Vorgang auszuführen.

Man kann diesen Sachverhalt auch mathematisch begründen. Die Beschleunigung ist die zeitliche Änderung der Geschwindigkeit (die Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit). Und damit läßt sich aus der Beschleunigung nicht mehr auf die absolute Geschwindigkeit

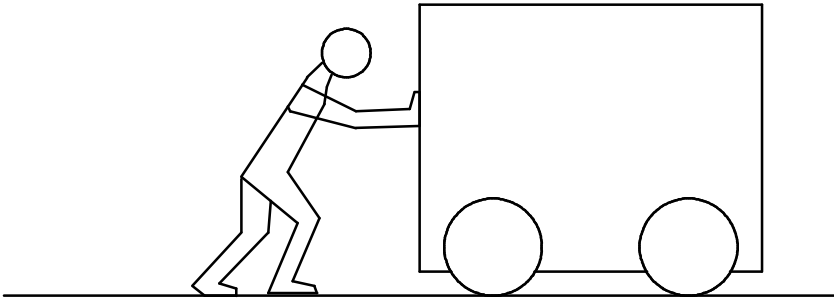


Bild 2: ruhender Beobachter schiebt den Wagen an. Der ruhende Beobachter muß Energie aufwenden um den Wagen in Bewegung zu setzen.

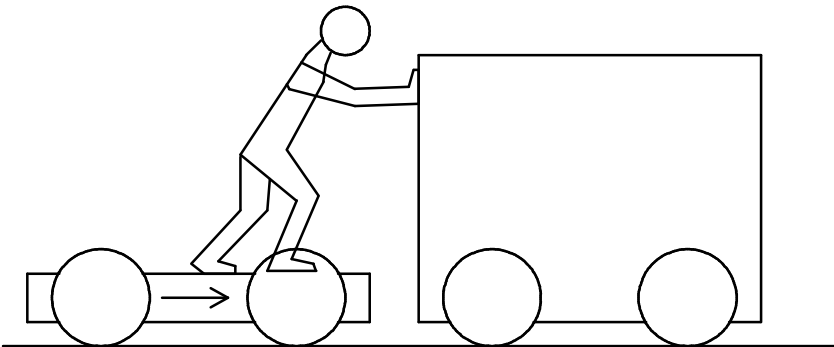


Bild 3: auf dem Beobachterhilfswagen fahrender Beobachter fährt auf den ruhenden Wagen zu. Beim Beschleunigen des ruhenden Wagens wird für den sich bewegenden Beobachter Energie frei. Für den sich bewegenden Beobachter wird der sich auf ihn zu bewegende Wagen abgebremst.



schließen sondern nur noch auf die Geschwindigkeitsänderung. Damit läßt sich aus der Beschleunigung natürlich auch nicht auf die Bewegungsenergie insgesamt, sondern nur noch auf die Änderung der Bewegungsenergie schließen. Auf die Gesamtgeschwindigkeit läßt sich erst dadurch schließen, daß Anfangsbedingungen definiert werden, dadurch, daß der Bezug zu einem Beobachter und die Anfangsgeschwindigkeit festgelegt werden. Und genau diese Relativität gegenüber dem gewählten Beobachterstandpunkt und den Anfangsbedingungen kommt in der Gleichung für die Beschleunigung einer Masse

$$F = m \cdot a \quad (11.1)$$

zum Ausdruck. Es gibt Beobachter, die empfinden die Bewegung der Masse genau gegensätzlich, der eine als Beschleunigung, der andere als Abbremsung, je nach gewähltem Beobachterstandpunkt. Aus dieser Gleichung kann daher keinesfalls auf die Möglichkeit der zeitlichen Umkehr geschlossen werden, sondern nur auf die Relativität des Beobachtungsergebnisses bezüglich des Beobachterstandortes !

Es sind aber längst nicht alle physikalischen Gesetzmäßigkeiten unabhängig von der Zeitrichtung. Bei Gesetzmäßigkeiten die thermische Vorgänge, Strömungsvorgänge, Radioaktivität und Ordnungsvorgänge (z.B. Diffusion) beschreiben ist die Zeitrichtung fast nie umkehrbar.

So ist zum Beispiel eine Druckdifferenz in einer Flüssigkeit oder in einem Gas Ursache einer Strömung. Durch die Strömung wird die Druckdifferenz abgebaut. Und dieser Vorgang ist in der Zeitrichtung auch eindeutig festgelegt. Die Strömung entsteht nicht spontan und baut die Druckdifferenz auf, nur umgekehrt ist es möglich, durch die Druckdifferenz entsteht eine Strömung.

## 12. Was ist eine Verzerrung von Raum oder Zeit ?

Ich möchte dieses Kapitel der räumlichen und zeitlichen Verzerrung nur ganz grundlegend ein wenig ankratzen und werde auch nicht auf die Ursachen und Gleichungen eingehen. Und ich werde es auch so einfach wie möglich darstellen.

In der Relativitätstheorie wird gesagt, daß Raum und Zeit von der im Raum befindlichen Masse oder Energie abhängig sind. Raum und Zeit werden durch diese Massen verzerrt. Was bedeutet das nun ? Benötigt man eine 4. Raumdimension um die Verzerrung der uns bekannten 3 Raumdimensionen darzustellen ?

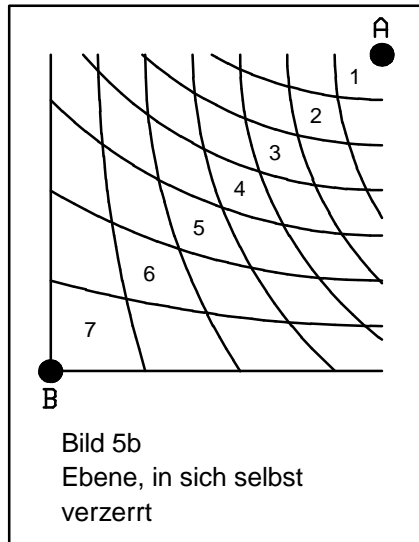
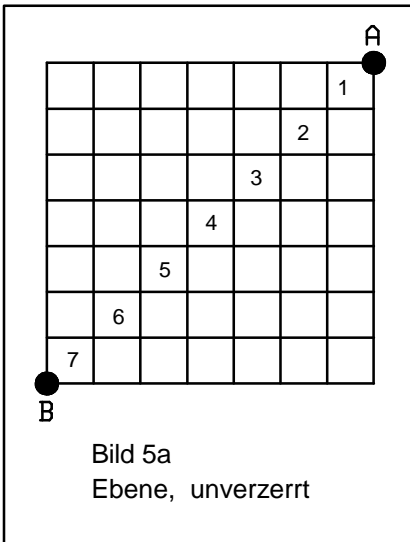
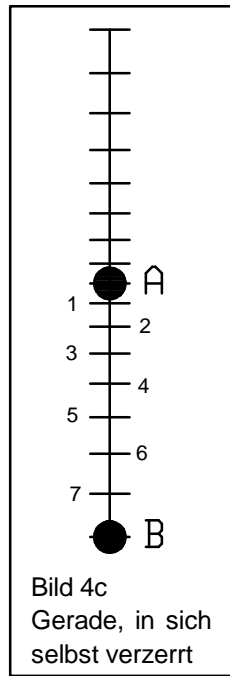
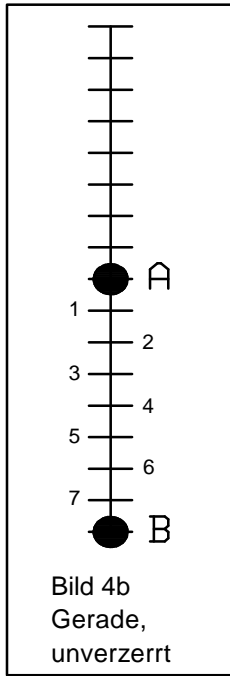
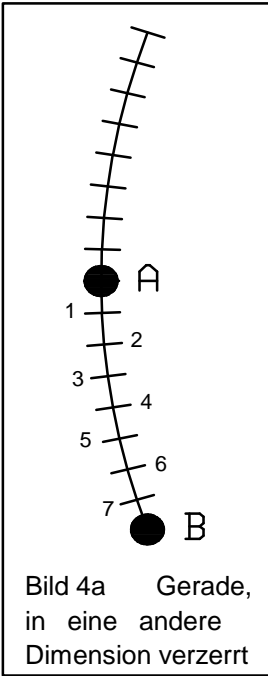
Wie im Kapitel 2 beschrieben wurde, messen wir Raum und Zeit, in dem wir Raum und Zeit mit einem von uns definierten Maßstab in gleichmäßige Teilabschnitte unterteilen, und diese Teilabschnitte zählen. Je feiner die Unterteilung in Teilabschnitte ist, um so genauer kann man Raum und Zeit messen. Wir gehen auch davon aus, und unsere persönliche Erfahrung (der „gesunde Menschenverstand“) sagt uns das auch so, diese Teilabschnitte von Raum und Zeit sind für alle Beobachter gleich groß. Und genau das trifft für sehr große Geschwindigkeiten, sehr große Massen und verschiedene Beobachter nicht mehr zu ! Diese Teilabschnitte zur Unterteilung von Raum und Zeit werden von der im Raum befindlichen Masse und von der Geschwindigkeit abhängig. Wie das geschieht, ist in der Relativitätstheorie beschrieben. Bei uns auf der Erde sind die Abweichungen so gering, daß wir sie erst seit etwa 50 Jahren messen können. Vor 50 Jahren konnte man das gerade so messen, heute kann man das recht gut messen, und damit die Relativitätstheorie (im Fernfeld) sehr gut bestätigen. Auch das GPS-Ortungssystem würde ohne die Korrekturen auf Grund der Relativitätstheorie gar nicht funktionieren.

Ich möchte diese Art der Verzerrung hier an zwei Beispielen demonstrieren, die Verzerrung einer Geraden und die Verzerrung einer Fläche.

Es gibt viele Möglichkeiten eine Gerade zu verzerren. Das ist im Bild 4 dargestellt. Im Allgemeinen geht man davon aus, wenn man eine Gerade verzerrt, dann wird sie krumm. Eine Gerade ist ein eindimensionales Gebilde, aber zur Beschreibung dieser Art Verzerrung benötigt man 2 oder 3 Dimensionen. Das ist im Bild 4a dargestellt. Diese Art der Verzerrung wird durch die Relativitätstheorie nicht erzeugt !

Oben wurde gesagt, daß die Teilabschnitte von Raum und Zeit durch die Relativitätstheorie nicht mehr für jeden Beobachter gleich groß sind. Wenn der Beobachter A die Gerade in gleichmäßige Teilabschnitte aufteilt, sieht das aus, wie in Bild 4b dargestellt. Der Beobachter B sieht das selbe aber möglicherweise anders, so wie es im Bild 4c dargestellt ist. Zur Beschreibung dieser Verzerrung benötigt man nur die eine Dimension, die auch zur Beschreibung der Geraden selbst notwendig ist. Das ist die Art der Verzerrung, die durch große Massen und schnelle Bewegungen in der Relativitätstheorie verursacht werden. Man benötigt also zur Beschreibung einer zeitlichen Verzerrung keine zeitliche Extradimension, keine Überzeit. Zeitliche Verzerrung bedeutet nur, daß die Zeit nicht überall und nicht für jeden überall gleich schnell abläuft. Eine Sekunde ist eben nicht für jeden Beobachter immer und überall eine Sekunde.

Nehmen wir an, ein Beobachter A würde jede Sekunde regelmäßig einen Lichtblitz aussenden und sich an einer sehr dichten schweren Masse vorbei bewegen. Dann würde der Beobachter B, der weit entfernt von der sehr dichten schweren Masse ist, bei der Annäherung des Beobachters A an die sehr dichte schwere Masse sehen, daß die Lichtblitze immer langsamer werden. Für den Beobachter B vergeht mehr als eine Sekunde zwischen zwei Lichtblitzen des Beobachters A. Wenn sich der Beobachter A wieder von der sehr dichten schweren Masse entfernt, werden die Lichtblitze wieder schneller, und erreichen auch wieder eine Sekunde, wenn der Beobachter A sehr weit entfernt von der Masse ist.



Man kann die Zeit heute extrem genau messen, auf etwa  $10^{-16}$  genau. Diese Genauigkeit reicht aus, um die zeitlichen Verzerrungen durch die Gravitationsfelder von der Sonne (etwa  $10^{-8}$ ), der Erde (etwa  $7 \cdot 10^{-10}$ ) und dem Mond (etwa  $1,4 \cdot 10^{-13}$ ) zu messen.

Die Verzerrung in sich selbst trifft genau so auch auf den Raum zu. Allerdings gibt es bei der Verzerrung des dreidimensionalen Raumes weitere Erscheinungen, die nur im mehrdimensionalen Raum auftreten können. Das ist am Beispiel einer Fläche im Bild 5 dargestellt. Diese Darstellung soll nur die Verzerrung einer Fläche in sich selbst darstellen, und keinerlei räumliche Verzerrung der Fläche. Beobachter A sieht die Fläche gleichmäßig aufgeteilt wie im Bild 5a dargestellt. Beobachter B sieht die selbe Aufteilung aber nicht mehr gleichmäßig, sondern in sich verzerrt, wie im Bild 5b dargestellt. Dabei fällt auf, daß sich Winkel verändern. Beobachter A sieht nur  $90^\circ$  Winkel, für den Beobachter B weichen die Winkel von  $90^\circ$  ab. Das kann dazu führen, daß im großräumigen Maßstab geometrische Gesetzmäßigkeiten der Ebene verletzt werden, ohne daß die Ebene verlassen wird. Ein Beispiel dafür ist die Summe der Innenwinkel bei ebenen geometrischen Figuren. Sie beträgt  $180^\circ$  beim Dreieck und  $360^\circ$  beim Viereck. Aber nur in der unverzerrten Ebene. Zur Beschreibung der Verzerrung dieser Ebene benötigt man nur die zwei Koordinaten, die auch zur Beschreibung der Ebene selbst notwendig sind, es ist keinerlei Extradimension notwendig.

Analog ist das auch beim 3-dimensionalen Raum. Er wird durch Massen und Geschwindigkeiten verzerrt, aber nur in sich selbst. Man benötigt zur Darstellung des verzerrten 3-dimensionalen Raumes keine 4. Dimension, diese Beschreibung ist in den 3 vorhandenen Dimensionen möglich. Es sind eben nur nicht mehr für alle Beobachter alle Teilabschnitte der Raumunterteilung gleich lang. Dadurch kann es auch passieren, daß ein Beobachter B die Linien, die ein anderer Beobachter A als gerade wahrnimmt, dann als krumme Linien wahrnimmt. Trotzdem gibt es nicht mehr als drei Raumdimensionen.

Die Raumaufteilung (die Gerade) wird durch die Ausbreitung von Licht definiert. Licht wird durch Massen abgelenkt. Deshalb kann man selbstverständlich auch sagen, der Raum wird durch Massen verzerrt oder gekrümmt. Aber das ist natürlich eine Folge unserer Definition der Geraden durch die Ausbreitung des Lichtes.

Die Quelle einer Raumverzerrung, eine Masse oder Energie, kann sich nur maximal mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Deshalb ist der Warp-Antrieb vom Raumschiff Enterprise leider unmöglich. Auch Gravitationswellen bewegen sich nur mit Lichtgeschwindigkeit. Selbst, wenn es möglich wäre, auf der Verzerrung der Raumzeit zu surfen, da sich diese Verzerrung auch nur mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, kann man auch dann nicht schneller als Licht reisen.

Obwohl man zu Verzerrungen von Zeit und Raum mit Sicherheit noch sehr viel mehr sagen könnte, möchte ich darauf hier aber nicht weiter eingehen. Es ist leider auch nicht ganz so einfach.

### **13. Sind Zeitreisen möglich ?**

Ein Traum der Menschen ist die Möglichkeit, die Zeit zu beeinflussen. Wie schön wäre es doch, die Vergangenheit im positiven Sinn zu beeinflussen, oder zu erfahren, was in Zukunft geschehen wird. Ist das möglich ?

Bei der Frage nach der Beeinflußbarkeit der Zeit, ergibt sich sofort die Frage, was das Ergebnis einer Beeinflussung der Zeit sein sollte. Eine einfache globale allgemeine Verlangsamung oder Beschleunigung der Zeit wäre sinnlos, denn sie beträfe ja auch uns als Beobachter, und so würden wir gar nichts davon merken. Nein, wir wollen, daß die Zeit außerhalb eines uns umgebenden Raumes entsprechend unseren Wünschen anders abläuft, als bei uns, innerhalb dieses Raumes, möglichst sogar rückwärts (wie z.B. mit der Zeitmaschine von H. G. Wells). In vielen phantastischen Geschichten können sich die Menschen der Zukunft frei durch die Zeit bewegen, so wie wir uns heute fliegend durch die Luft bewegen

können. Es scheint also ein Traum der Menschen zu sein, sich auch durch die Zeit zu bewegen. Das zeugt aber auch davon, daß viele Menschen keine Vorstellung davon haben, was Zeit eigentlich ist.

Bei der Frage nach der Möglichkeit der Zeitreise soll zuerst mit der Frage nach der Möglichkeit der Reise in die Vergangenheit begonnen werden. Es wurde festgestellt, daß die Zeit der ständige Ablauf von Kausalketten im Raum ist. Der zeitliche Ablauf ist festgelegt durch die Reihenfolge von Ursache-Wirkungs-Vorgängen. Wenn ein Zeitreisender aus der Zukunft in die Vergangenheit reisen könnte, könnte er auf schon längst vergangene Ereignisse einwirken. Das wäre ein Bruch des Kausalitätsprinzips, denn die Ursache muß ja immer vor der Wirkung vorhanden sein. Und der auf die Vergangenheit einwirkende Zeitreisende aus der Zukunft wäre eine Ursache aus der Zukunft. Zeitreisen in die Vergangenheit sind also unmöglich !

In der phantastischen Literatur ist häufig folgendes Paradoxon angegeben: Jemand reist in die Vergangenheit und verhindert, daß der eigene Großvater die eigene Großmutter trifft und heiratet. Da der Großvater die Großmutter nicht trifft, kann es auch den Enkel, der in die Vergangenheit gereist ist, nicht geben. Das ist sehr verwirrend ! Wo steckt der Fehler ? Die Ursache für das Nicht-zusammentreffen von Großmutter und Großvater kommt aus der Zukunft. Das ist ein Verstoß gegen das Kausalitätsprinzip und damit unmöglich. Die Ursache muß immer vor der Wirkung vorhanden sein, und kann daher nie aus der Zukunft kommen ! An einigen Stellen der phantastischen Literatur wird dann angegeben, der aus der Zukunft kommende Zeitreisende darf die Vergangenheit auf Grund eines Gesetzescodexes nicht verändern, und tut es trotzdem manchmal. Dann soll sich angeblich auch die Zukunft ändern. Das alles widerspricht dem Kausalitätsprinzip. Den aus der Zukunft kommenden Zeitreisenden gibt es nicht ! Niemand kann nachträglich die Vergangenheit verändern !

Nachdem nun festgestellt wurde, daß eine Reise in die Vergangenheit unmöglich ist, stellt sich die Frage, kann man die

Vergangenheit irgendwie sehen ? Ja, das kann man ! Stellen wir uns vor, man würde einen Spiegel auf dem Mond aufstellen und wir würden uns mit diesem Spiegel betrachten. Dann würden wir uns in dem Spiegel sehen, so wie wir vor 2,5 Sekunden waren. Wenn wir uns beim Rasieren in diesem Spiegel schneiden würden, dann würden wir zuerst den Schmerz spüren und dann nach 2,5 Sekunden beobachten können, wie wir uns schneiden. Um uns einen Tag später zu sehen, müßte der Spiegel schon in der Nähe des Planeten Pluto angebracht sein. Und um ein Jahr zurückzublicken, müßte der Spiegel schon ein ganzes Stück auf dem Weg zum nächsten Fixstern stehen. In Spiegeln, die so weit entfernt sind, kann man nicht mehr viel erkennen. Man sieht also, das Bild unserer Vergangenheit verblaßt recht schnell. Und wie es vor hundert oder tausend Jahren bei uns ausgesehen hat, wird man auf diese Weise nicht erfahren können. Außerdem muß man ja vorher in der riesigen Entfernung einen Spiegel aufgestellt haben.

Man sieht also, Reisen in die Vergangenheit sind unmöglich. Wie steht es nun mit Reisen in die Zukunft. Eine Reise in die Zukunft ist allerdings immer eine Reise ohne Rückkehr, da die Rückreise eine Reise in die Vergangenheit wäre. Und das ist, wie soeben beschrieben, unmöglich. Reisen in die Zukunft bedeutet, daß um uns herum die Zeit schneller abläuft als bei uns selbst. Das ist im Prinzip möglich, aber bisher für uns Menschen nicht so ausführbar, daß man es bemerken würde. Wenn es aber gelingen würde, einen Raumfahrer mit seinem Raumschiff auf eine Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen, dann würde die Zeit bei dem Raumfahrer langsamer ablaufen als bei uns und der Raumfahrer würde in unsere Zukunft reisen. Bei der Rückkehr des Raumfahrers wäre für den Raumfahrer weniger Zeit vergangen als für uns, der Raumfahrer wäre in unsere Zukunft gereist.

Es gibt auch noch andere Möglichkeiten in die Zukunft zu reisen. Damit jemand in die Zukunft reist genügt es ja, die Zeit für ihn persönlich langsamer ablaufen zu lassen, die biologischen Vorgänge



seiner Alterung zu verlangsamen oder zu stoppen. Das ist dann keine physikalische Reise in die Zukunft sondern eine biologische Reise in die Zukunft. Auch diejenigen, die sich, unheilbar krank, kurz nach ihrem Tode einfrieren lassen, um später von Ärzten, die diese Krankheit dann möglicherweise heilen könnten, wieder aufgetaut zu werden, unternehmen den verzweifelten Versuch einer biologischen Reise in die Zukunft. Leider ist es bisher nicht möglich, Menschen oder menschliche Organe einzufrieren und nach dem Auftauen wieder zum Leben zu erwecken. Das geht bisher nur mit einzelnen Zellen vom Menschen.

Wenn wir nun schon nicht in die Zukunft und zurück reisen können um zu sehen was sich ereignen wird, stellt sich die Frage, kann man wie in die Vergangenheit auch in die Zukunft sehen ? Gibt es eine prinzipielle Möglichkeit, die Lottozahlen im voraus zu erfahren ? So einfach, wie mit dem Spiegel in die Vergangenheit, ist die Sache beim Blick in die Zukunft jedoch nicht.

Die einzige Möglichkeit die Zukunft vorherzusagen ist, sich ein Modell der uns umgebenden Welt zu schaffen und die Zukunft an Hand dieses Modells vorherzusagen. Diese Modelle unserer Umwelt sind zum Teil gut berechenbar, und zum Teil auch sehr kompliziert, oder führen manchmal zu chaotischen Ergebnissen. Wenn man auf einen Turm steigt und einen Ball fallen läßt, dann kann jedes Schulkind ausrechnen, wie lange der Ball nach unten fällt, bis er den Boden erreicht, wenn man die Fallhöhe und die Erdbeschleunigung kennt, und der Ball im luftleeren Raum fällt. Wenn man den Ball aus einem hohen Turm in die Luft fallen läßt, offenbart sich die Unvollkommenheit der Fallgesetze, die man in der Schule gelernt hat. Der Ball fällt länger und langsamer und trifft auch nicht mehr immer genau unter demjenigen, der den Ball fallengelassen hat, auf den Boden. Die Luft bremst den Ball und eine seitliche Windböe lenkt den Ball auch quer zur Fallrichtung ab. Für diesen Fall ein Modell zu formulieren ist viel komplizierter als das einfache Fallgesetz.

Außerdem muß man genau wissen, wie sich die Luft gerade bewegt, wenn der Ball fällt.

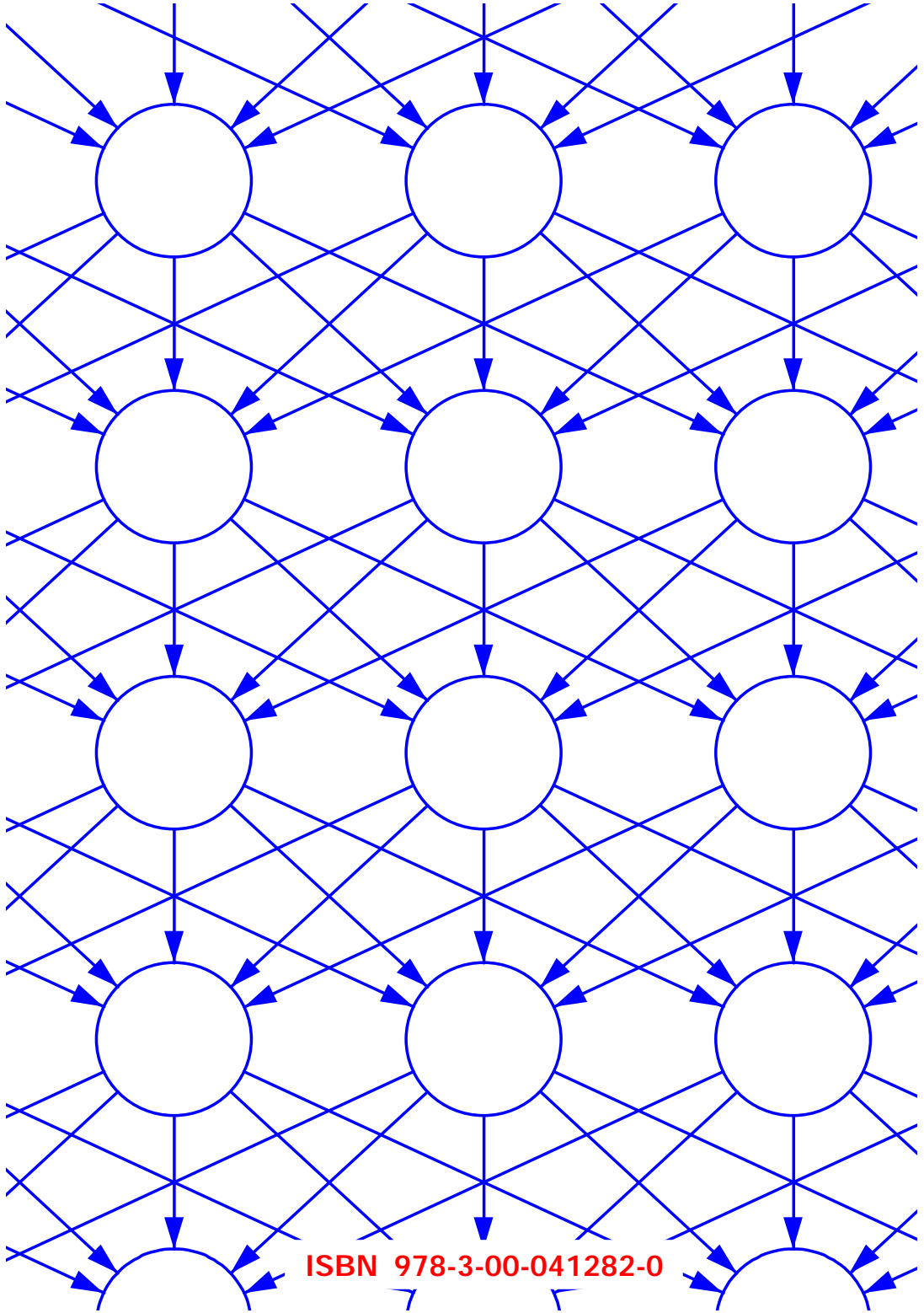
Es gibt heute Modelle der Natur mit denen man Ereignisse hunderte oder tausende Jahre vorhersagen kann. Die Bahnen der Planeten um die Sonne beispielsweise. Man kann die Sonnenfinsternisse über hunderte von Jahren vorausberechnen, und kann auch sagen, wo vor hunderten von Jahren eine Sonnenfinsternis stattgefunden hat. Diese Modelle sind recht perfekt und funktionieren über einen großen Zeitraum. Aber wie das Wetter in zwei Monaten ist, oder wie die Lottozahlen morgen sind, das läßt sich nicht vorhersagen. Die Modelle dafür sind entweder unbeschreiblich umfangreich und kompliziert oder sie haben ein chaotisches Verhalten. Ein chaotisches Verhalten hat ein Modell dann, wenn sehr kleine, zum Teil nicht meßbar kleine Änderungen der Anfangsbedingungen ein ganz anderes Ergebnis zur Folge haben. Trotzdem beschreiben diese Modelle mit dem chaotischen Verhalten ganz normale Ursache-Wirkungs-Vorgänge. Es gibt Modelle, die gehen erst nach einer gewissen Zeit in ein chaotisches Verhalten über, wie die Modellrechnungen beim Wetter, und es gibt Naturereignisse, die fast sofort ein chaotisches Verhalten zeigen. Die Apparate zum Ziehen der Lottozahlen zeigen auch ein chaotisches Verhalten, schon nach sehr kurzer Zeit. Das ist von den Lottogesellschaften so beabsichtigt, und deshalb lassen sich Lottozahlen auch nicht wie das Wetter vorhersagen.

Man sieht also, die Zukunft läßt sich nur sehr beschränkt an Hand vom Modellen vorhersagen. Und das ist auch gut so, denn wie sollten wir selbst über unsere eigene Zukunft entscheiden, wenn sie vorherbestimmt wäre. Unser Zeitzug fährt zwar mit uns immer vorwärts in die Zukunft, aber wir bestimmen selbst mit, wie diese Landschaft Zukunft, in die wir hineinfahren, aussieht. Es ist doch eine der wesentlichen menschlichen Eigenschaften, daß der Mensch seine Zukunft willentlich selbst plant und gestaltet !

## 14. Zusammenfassung

Ich hoffe, diese kleine Schrift war vergnüglich, verständlich, hat zum Denken angeregt, war nicht zu kompliziert und hat dem Leser folgendes erläutert:

Der Raum ermöglicht das Nebeneinander von Ereignissen und Objekten. Im leeren Raum kann man sich, wenn die dazu notwendige Energie vorhanden ist, frei bewegen. Durch die Symmetrie aus Rotation und Translation folgt die Notwendigkeit von 3 geometrischen Raumdimensionen. Es gibt keine (makroskopische) Wechselwirkung, die mehr als 3 geometrische Raumdimensionen erfordern würde. Die Zeit ermöglicht das Nacheinander oder eine Reihenfolge von Ereignissen. In der Zeit kann man sich nicht selbst bewegen. Der Zeitablauf wird durch eine Reihenfolge von kausal miteinander verbundenen Ereignissen festgelegt. Daher gibt es auch nur eine einzige zeitliche Dimension, in der man auch nur vorwärts bewegt wird. Einwirkungen auf die Vergangenheit sind unmöglich, man kann grundsätzlich nur auf die Zukunft einwirken. Raum und Zeit sind Koordinaten. Veränderungen oder Bewegungen sind nur durch das Vorhandensein von Raum **und** Zeit möglich. Durch die Verteilung von kausal miteinander verbundenen Ereignissen im Raum und die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wirkungen sind Raum und Zeit miteinander verbunden. Die Zeit läuft zwar immer nur ab, sie kann aber für unterschiedliche Beobachter unterschiedlich schnell ablaufen. Die Lichtgeschwindigkeit ist aber für alle Beobachter gleich (Spezielle Relativitätstheorie). Energie kann maximal mit Lichtgeschwindigkeit transportiert werden. Daher ergibt sich der minimale Zeitabstand zweier energetisch kausal zusammenhängender Ereignisse aus dem geometrischen Abstand der Ereignisse und der Lichtgeschwindigkeit. Wenn man in kosmische Entfernungen blickt, sieht man in die Vergangenheit. Die Zukunft kann man nur in begrenztem Umfang an Hand von Modellen unserer Umwelt vorhersagen. Die Grenzen dieser Modelle muß man genau kennen, um vernünftige Aussagen zu erhalten.



**ISBN 978-3-00-041282-0**