

Jörg Resag

Zeitpfad

Die Geschichte
unseres Universums
und unseres Planeten

SACHBUCH



Springer Spektrum

Zeitpfad

Jörg Resag

Zeitpfad

Die Geschichte unseres Universums und
unseres Planeten



Springer Spektrum

Springer Spektrum

ISBN 978-3-8274-2972-8

ISBN 978-3-8274-2973-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-8274-2973-5

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

©Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Planung und Lektorat: Dr. Andreas Rüdinger, Bettina Saglio

Redaktion: Annette Heß

Covergestaltung: deblik Berlin

Titelbild: ©fotolia.com

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.springer-spektrum.de

Für Karen, Kevin, Tim und Jan

Inhalt

Vorwort	IX
1 Die Geburt des Universums	1
1.1 Der Urknall	3
1.2 Die inflationäre Expansion: Das Universum bläht sich auf	23
1.3 Die ersten drei Minuten: die Geburt der Atombausteine	47
1.4 Die erste Stunde: Heliumkerne entstehen	59
1.5 Expansion, Strahlungs- und Materiedichte	68
1.6 Die Entstehung der kosmischen Hintergrundstrahlung	83
2 Sterne und Galaxien	97
2.1 Räumliche Strukturen im Universum	97
2.2 Virgo-Galaxienhaufen, lokale Gruppe und Milchstraße	105
2.3 Sterne entstehen und vergehen	111
3 Sonnensystem und Erde	147
3.1 Die Entstehung des Sonnensystems	148
3.2 Erde und Mond werden geboren	155
3.3 Die Frühzeit der Erde: Das erste Leben entsteht	163
4 Erdaltertum	191
4.1 Spätes Ediacarium und Kambrium: Vielzeller erobern das Meer	191
4.2 Ordovizium: erste Landpflanzen und am Ende eine Eiszeit	212
4.3 Silur: kaledonische Gebirgsbildung und die ersten Landtiere	217
4.4 Devon: das Zeitalter der Fische, erste Wälder und Amphibien	226
4.5 Karbon: Sumpfwälder, Kohle und Gletscher	235
4.6 Perm: Pangäa und das größte Massensterben der Erdgeschichte	242
5 Erdmittelalter	251
5.1 Trias: erste Saurier und Säugetiere	252
5.2 Jura: Dinosaurier erobern die Welt, Pangäa zerbricht	261
5.3 Kreidezeit: Blütezeit und Ende der Dinosaurier	272

6	Erdneuzeit	289
6.1	Tertiär: Blütezeit der Säugetiere und die Entstehung der Menschen	289
6.2	Quartär: Eiszeit und Menschen	313
7	Die Zukunft	333
7.1	Die Zukunft der Erde	335
7.2	Das Ende der Sonne	342
7.3	Das beschleunigte Universum	349
	Literatur	359
	Abbildungsverzeichnis	361
	Anhang: Zeittafel	367
	Index	377

Vorwort

Als Kind erscheint einem ein Jahr wie eine Ewigkeit. Wenn man dann älter wird und beispielsweise 40 Jahre oder mehr gesehen hat, dann beginnt man langsam ein Gefühl für etwas längere Zeiträume zu entwickeln. Die eigenen Kinder gehen womöglich mittlerweile in die Schule, und man denkt an die eigene Schulzeit zurück, die nun bereits viele Jahre zurückliegt. An manches kann und mag man sich erinnern, aber sehr vieles haben die letzten Jahrzehnte bereits ausgelöscht – wie sahen nochmal die Lehrer und Mitschüler in der Grundschule aus?

An den Zweiten Weltkrieg können sich nur noch wenige lebende Menschen erinnern; er liegt bereits über 60 Jahre zurück und ist den meisten von uns nur aus Berichten und Filmaufnahmen bekannt. Damals lebten unsere Eltern, Großeltern oder Urgroßeltern – bereits Letztere haben nur wenige von uns noch persönlich kennengelernt. Gehen wir noch weiter in der Zeit zurück, so verschwindet diese sehr schnell im Dunkel der Vergangenheit, und man kann nur noch anhand von geschichtlichen Quellen erschließen, wie es damals gewesen sein muss. So schrieb bereits der römische Kaiser Mark Aurel (121 bis 180 n. Chr.) in seinen Selbstbetrachtungen vor mehr als 1 800 Jahren:

„Einst gebräuchliche Worte sind jetzt unverständliche Ausdrücke. So geht es auch mit den Namen ehemals hochgepriesener Männer wie Camillus, Kaeso, Volesus, Leonnatus, und in kurzer Zeit wird das auch mit einem Scipio und Cato, nachher mit Augustus und dann mit Hadrian und Antoninus der Fall sein. Alles vergeht und wird bald zum Märchen und sinkt rasch in völlige Vergessenheit...“

Auch unseren Vorfahren war also durchaus bewusst, wie kurz die Zeiträume sind, die wir selbst überblicken können. So sind beispielsweise zur Zeit Mark Aurels die ägyptischen Pyramiden von Gizeh bereits altherwürdige Gebäude, die rund 2 500 Jahre zuvor von Pharaonen erbaut wurden, deren Namen nur sehr wenigen Zeitgenossen Mark Aurels noch bekannt gewesen sein dürften. Wie wäre es wohl, wenn diese Pyramiden uns von den letzten 4 500 Jahren

berichten könnten, einem Zeitraum, in dem bereits an die 200 Menschen- generationen gelebt haben?

Und selbst dieser Zeitraum ist winzig im Vergleich zu der Zeitspanne, seit der Menschen wie wir existieren – gut 100 000 Jahre. Gehen wir noch weiter zurück, so verlieren wir schnell jegliche Vorstellung von den Zeiträumen, die wir betrachten, und sprechen einfach zusammenfassend von der *Urzeit*. Ich erinnere mich an manche alten Filmszenen, in denen sich Steinzeitmenschen vor blutrünstigen Dinosauriern in Acht nehmen mussten, obwohl diese beim Erscheinen der ersten Menschen bereits seit mehr als 60 Millionen Jahren ausgestorben waren. Nie hat jemals irgendein Mensch einen lebenden Dinosaurier zu Gesicht bekommen!

Ich möchte mit diesem Buch versuchen, zumindest eine gewisse Vorstellung von den Zeiträumen zu entwickeln, die seit der Entstehung unseres Universums vergangen sind. Wann und wie entstanden die ersten Menschen? Wann lebten die Dinosaurier, und welche heutigen Lebewesen sind mit ihnen am engsten verwandt? Wann entstanden Sonne, Erde und Mond? Wie alt ist unser Universum eigentlich insgesamt, und wie kann man sich seinen Ursprung und seine Zukunft nach heutigem Wissen vorstellen?

Um die entsprechenden Zeiträume besser überblicken zu können, wollen wir uns die Zeit als langen Pfad vorstellen – als *Zeitpfad*. Versuchen wir es mit einem Maßstab, bei dem ein Millimeter einem Jahr entspricht. Ein typisches Menschenleben auf diesem Pfad ist also etwa acht Zentimeter lang. In diesem Maßstab liegt die Lebenszeit Mark Aurels fast zwei Meter zurück, und der Bau der Pyramiden erfolgte vor gut vier Metern. Das sind überschaubare Größenordnungen, die man sich gut vorstellen kann! Doch wie lang ist dieser Pfad eigentlich insgesamt?

Nach allem, was wir heute über die Welt wissen, lautet die Antwort mit hoher Sicherheit: Unser Universum entstand vor etwa 13,7 Milliarden Jahren mit dem sogenannten Urknall, d. h. der Zeitpfad ist rund 13 700 Kilometer lang. Das ist zwar eine sehr lange Strecke, doch auch sie können wir uns immer noch als Reiseweg auf unserer Erde veranschaulichen. Dazu wollen wir zunächst den Endpunkt des Zeitpfades festlegen, der unserer Gegenwart entspricht. Da ich selbst im Großraum Köln wohne, war es für mich naheliegend, die Stadt Köln als Endpunkt zu wählen. Für die letzten Kilometer und Meter des Zeitpfades müssen wir es noch genauer wissen; was also wäre naheliegender, als den bekannten Kölner Dom als Endpunkt auszuwählen, und zwar ganz präzise den Schnittpunkt seines kreuzförmigen Grundrisses in seinem Inneren.

Die genaue Lage des Anfangspunktes ist dagegen nicht ganz so wichtig, da wir die Länge des Zeitpfades heute nur auf rund 100 Kilometer genau kennen – was eine bemerkenswert gute Genauigkeit ist, an die noch im letzten Jahr-

hundert kaum zu denken war. Die Stadt *Darwin* im Norden Australiens ist etwa 13 400 Kilometer von Köln entfernt, sodass wir in der Umgebung dieser Stadt den Anfangspunkt unseres Zeitpfades positionieren können. Darwin ist nach dem britischen Naturforscher *Charles Darwin* benannt, dessen Hauptwerk *On the Origin of Species (Über die Entstehung der Arten)* im Jahr 1859 die Basis für die Evolutionstheorie legte, die in diesem Buch noch eine wichtige Rolle spielen wird. Was könnte passender sein, als den Startpunkt unseres Zeitpfades in die Nähe der nach ihm benannten Stadt zu verlegen!

Damit haben wir die riesigen Zeiträume der Vergangenheit in für uns Menschen vorstellbare Entfernungen übersetzt. Mit dieser Vorstellung im Gepäck wollen wir uns nun an den Zeitpfad heranwagen und diesen von seinem Startpunkt nahe der australischen Stadt Darwin bis zu seinem heutigen Endpunkt im Kölner Dom entlanggehen.

Wir werden zu Beginn dieser Reise in Kapitel 1 sehen, wie unser Universum im Urknall entsteht und was diesen Urknall hervorgerufen haben könnte – und dabei auf die Frage stoßen, ob es noch andere Universen als das für uns sichtbare geben könnte. Wir werden sehen, wie sich die Energie des Urknalls in Form von Elementarteilchen materialisiert und wie sich daraus schließlich nur knapp 400 Meter nach dem Startpunkt des Zeitpfades neutrale Wasserstoff- und Heliumatome bilden. Die Wärmestrahlung dieser frühen Epoche ist noch heute am Himmel als kosmische Hintergrundstrahlung messbar und liefert uns unschätzbar wertvolle Informationen über das sehr frühe Universum.

Unter dem Einfluss der Schwerkraft ballt sich das Wasserstoff- und Heliumgas innerhalb der ersten 200 bis 300 Zeitpfad-Kilometer lokal zu den ersten Sternen und den ersten noch kleinen Galaxien zusammen (siehe Kapitel 2). Im Laufe der Zeit verschmelzen viele dieser Galaxien zu größeren Galaxien, und ständig bilden sich aus ihrem Gas neue Sterne, während ältere Sterne wieder vergehen und an ihrem Lebensende einen großen Teil ihrer Materie wieder in den Weltraum hinausschleudern. In diesen Sternen entstehen alle schwereren Elemente jenseits von Helium – auch Elemente wie beispielsweise Kohlenstoff, Sauerstoff oder Silizium, aus denen unsere Erde und wir selbst zu großen Teilen bestehen.

Erst nach rund 9 100 Zeitpfad-Kilometern, also ungefähr 4 600 Kilometer vor Köln, bilden sich schließlich unsere Sonne, ihr Planetensystem und damit auch unsere Erde (siehe Kapitel 3). Rund 1 000 Kilometer später entsteht das erste einzellige Leben, aber erst auf den letzten rund 600 Zeitpfad-Kilometern gehen aus ihm komplexe mehrzellige Lebewesen hervor, die zunächst die Ozeane und später auch das Festland erobern (siehe Kapitel 4 und 5). Die Vielfalt des Lebens blüht auf: Schnecken, Quallen, Würmer, Fische, Amphibien, Reptilien, Dinosaurier, Säugetiere und viele andere Lebewesen

entstehen im Lauf der Jahrmillionen, während die Kontinente über den Erdball driften und neue Gebirge sich auffalten, die anschließend wieder von der Erosion abgetragen und in Form von ausgedehnten Sedimentschichten abgelagert werden.

Fünf große Massensterben werfen auf diesen letzten 600 Zeitpfad-Kilometern das Leben immer wieder zurück, eröffnen ihm aber dadurch zugleich auch die Chance für die Entwicklung neuer Lebensformen. Das letzte dieser Massensterben löscht nur 65 Kilometer vor Köln die Dinosaurier und viele andere Tiergruppen aus und gibt damit den Säugetieren die Möglichkeit, die frei werdenden Lebensräume neu zu besiedeln (siehe Kapitel 6). So gelingt es schließlich auch unserer eigenen Menschenart, nur gut 100 Meter vor dem Endpunkt des Zeitpfades das Licht der Welt zu erblicken. Wie es mit der Welt auf dem Zeitpfad der Zukunft jenseits von Köln weitergehen wird, davon handelt Kapitel 7.

Auf unserer Reise entlang des Zeitpfades werden uns viele Bereiche der modernen Naturwissenschaft begegnen. Physik, Kosmologie und Astronomie werden ebenso berührt wie Geowissenschaften und Biologie. Ich habe daher versucht, alle diese Bereiche in diesem Buch in angemessener Weise zu berücksichtigen, wobei es mir wichtig war, oberflächliche Vereinfachungen zu vermeiden und den aktuellen Stand des Wissens möglichst präzise und anschaulich darzustellen. Dabei werden zum Teil auch englischsprachige Originalgrafiken verwendet – für die meisten Leser dürfte das in einer Welt, in der Englisch mittlerweile zur globalen Sprache geworden ist, sicher kein Problem darstellen.

Gerade in den letzten Jahrzehnten ist unser Wissen über die Vergangenheit unserer Welt enorm angewachsen. Wir wissen heute recht genau, wann unsere Welt entstanden ist, wie unser Universum expandiert, wie viel Materie es enthält, wie Erde und Mond sich gebildet haben, wie der Stammbaum des Lebens aussieht und wie wir selbst entstanden sind. Diese modernen Erkenntnisse über unsere Welt im Zusammenhang darzustellen, ist das wesentliche Ziel dieses Buches.

Bei der Erstellung des Buches haben viele Menschen mitgewirkt, denen ich hier ganz herzlich dafür danken möchte. Die wunderbaren Grafiken von Nobu Tamura lassen für uns die Tiere der Vergangenheit lebendig werden, und die Darstellungen von Christopher R. Scotese führen uns vor Augen, wie sehr sich die Lage der Kontinente im Laufe der letzten 600 Millionen Jahre verändert hat. Andreas Rüdinger von Springer Spektrum hat das Buchmanuskript gelesen und mit seinen vielen konstruktiven Vorschlägen sehr zum Gelingen dieses Buches beigetragen. Bettina Saglio (ebenfalls von Springer Spektrum) hat bei den vielen Textseiten und Grafiken den Überblick behalten und auch manche schöne Grafik für das Buch entdeckt. Die Redaktion hat

Annette Heß übernommen und mit ihrem Sachverstand als Biologin dafür gesorgt, dass mir als Physiker keine allzu groben Versehen in diesem Bereich unterlaufen sind. Nicht zuletzt möchte ich meiner Frau Karen und meinen Söhnen Kevin, Tim und Jan für ihre Unterstützung und ihre Geduld danken, wenn die Arbeit an diesem Buch an manchen Abenden oder Wochenenden wieder einmal viel mehr Zeit in Anspruch nahm als gedacht.

Jörg Resag
Leverkusen, im Oktober 2011

1

Die Geburt des Universums

*Ewiges Firmament,
mit den feurigen Spielen
deiner Gestirne,
wie bist du entstanden?*

(aus Christian Morgenstern: In Phanta's Schloss – Kosmogonie)

Wenn wir wie Christian Morgenstern in einer klaren Nacht den Blick zum Himmel richten, so ist dieser erfüllt mit unzähligen Sternen, die scheinbar ewig gleich an denselben Positionen des Firmaments verharren. Die Menschen der Antike haben sie daher *Fixsterne* genannt, im Gegensatz zu den wandernden Planeten, deren Bahn wir am Himmel verfolgen können. Das Universum scheint statisch zu sein, zumindest was die Sterne betrifft, und da auch in sehr weiter Ferne noch Sterne zu finden sind und nirgends ein Rand zu entdecken ist, scheint es außerdem unendlich groß zu sein.

Nachdem Nikolaus Kopernikus im Jahr 1543 die Sonne anstelle der Erde in den Mittelpunkt der Welt gerückt hatte und damit unser Weltbild entscheidend veränderte, entstand in den nächsten Jahrzehnten genau dieses Bild eines unendlichen ewigen Universums, in dem die Fixsterne ferne Sonnen sind. Giordano Bruno wurde für diese Weltsicht im Jahr 1600 noch als Ketzer auf dem Scheiterhaufen verbrannt, denn wo ist in diesem Universum noch Platz für die Schöpfung, das Jüngste Gericht oder das Jenseits?

Doch kann ein statisches, ewiges, unendliches und gleichförmig mit Sternen angefülltes Universum tatsächlich existieren? Wenn man darüber genauer nachdenkt, so stellt man fest, dass man in einem solchen Universum an *jedem* Punkt des Himmels einen Stern sehen würde. Zwar werden die Sterne optisch kleiner, je weiter man in die Ferne schaut, aber auch zahlreicher, sodass das optische Schrumpfen der Sterne dadurch genau ausgeglichen wird. Der Himmel wäre hell wie die Sonne, und auf der Erde würden Temperaturen wie auf den Oberflächen der Sterne herrschen, also mehrere 1 000 Grad. Dieses Problem wurde noch vor dem Jahr 1595 von Thomas Digges und etwas

später (1610) von Johannes Kepler erkannt. Man bezeichnet es auch als das *Olbers'sche Paradoxon*.

Nun könnten natürlich Staubwolken zwischen den Sternen deren Licht absorbieren, und tatsächlich gibt es solche Staubwolken. Doch in einem ewigen Universum mit ewigen Sternen hätte deren Licht diese Wolken längst auf Sternentemperatur aufgeheizt, sodass die Wolken selbst hell wie Sterne strahlen würden. Wir säßen in einem stellaren Backofen.

Auch die Gesetze der Gravitation erlauben kein statisches Universum. Die Sterne ziehen sich gegenseitig an, sodass zunächst ruhende Sterne beginnen würden, aufeinander zuzustürzen. Als Albert Einstein im Jahr 1916 seine allgemeine Relativitätstheorie formulierte, welche die Gesetze der Gravitation bis heute mit hoher Präzision beschreibt, musste er feststellen, dass diese Gesetze kein statisches Universum zulassen. Da er jedoch wie seine Zeitgenossen zunächst an ein statisches Universum glaubte, fügte er einen abstoßend wirkenden Gravitationsterm zu seinen Gleichungen hinzu, um die anziehende Gravitation zwischen den Sternen zu kompensieren. Diese sogenannte *kosmologische Konstante* wird uns in diesem Buch noch öfter begegnen. Dabei übersah Einstein, dass das Gleichgewicht zwischen Anziehung und Abstoßung instabil ist: Das Universum bleibt auch bei Einbeziehung abstoßender Gravitationskräfte dynamisch.

Das Bild eines ewigen, unendlichen, statischen Universums bekommt also langsam Risse. Den Todesstoß versetzte ihm in den Jahren 1927 und 1929 die Beobachtung von Georges Lemaître und Edwin Hubble, dass sich weit von uns entfernte Galaxien von uns wegbewegen, und zwar umso schneller, je weiter sie von uns entfernt sind. Das Universum ist also gar nicht statisch; der erste Blick zum Nachthimmel täuscht! Schaut man weit genug ins Weltall hinaus, so sieht man, dass unser Universum expandiert. Albert Einstein soll daraufhin seine kosmologische Konstante als *größte Eselei seines Lebens* bezeichnet haben – zu Unrecht, wie wir noch sehen werden.

Da das Universum expandiert, kann es auch nicht seit ewiger Zeit existieren, zumindest so wie wir es kennen. Verfolgen wir die Bewegungen der Galaxien rückwärts in der Zeit, so kommen sie einander immer näher, je weiter wir in die Vergangenheit zurückgehen. Die mittlere Materiedichte wird immer größer, und schließlich kommt der Zeitpunkt, bei dem sie unendlich groß werden müsste und alle Sternabstände auf null zu schrumpfen scheinen. Diesen Zeitpunkt bezeichnen wir mit dem Wort *Urknall*. Er stellt die Geburt der Welt dar, wie wir sie kennen, und legt damit den Anfang unseres Zeitpfades fest. Aufgrund der heute möglichen präzisen Beobachtungen des Kosmos wissen wir, dass der Urknall vor 13,7 Milliarden Jahren stattfand. Unser Zeitpfad vom Urknall bis heute, bei dem ein Jahr einem Millimeter entspricht, ist also 13 700 Kilometer lang.

1.1 Der Urknall

Mit dem Urknall beginnen wir ausgerechnet mit dem schwierigsten Thema dieses Buches, denn je weiter wir uns ihm nähern, umso mehr entfernen wir uns von der Welt, die uns anschaulich zugänglich ist und deren physikalische Gesetze wir zuverlässig kennen. Je näher wir ihm kommen, umso dichter ist die Materie im Raum zusammengedrängt und umso höher sind Temperatur und Energie der vorhandenen Materieteilchen.

Wie sah unsere Welt zum Zeitpunkt des Urknalls selbst aus? Um ehrlich zu sein: Wir wissen es nicht, denn die heute etablierten physikalischen Theorien erlauben es uns nicht, den Lauf der Welt bis zum Urknall zurückzuverfolgen. Allerdings kommen wir mit diesen Theorien immerhin schon recht nahe an den Urknall heran, nämlich bis auf mindestens eine millionstel Sekunde (10^{-6} Sekunden). Zu dieser Zeit ist das Universum von einem sehr dichten und heißen Gas (genauer: Plasma) durchdrungen, dessen Temperatur bei etwa zehn Billionen Grad (10^{13} Kelvin) liegt (die Temperatur in Kelvin erhält man, indem man von der Temperatur in Grad Celsius rund 273 Grad abzieht, sodass die Temperatur am absoluten Nullpunkt null Kelvin beträgt; für die hohen Temperaturen in der Nähe des Urknalls macht das allerdings kaum einen Unterschied). Möglicherweise kann man mit den etablierten Theorien sogar noch etwas weiter in der Zeit zurückrechnen, vielleicht bis zu einer Temperatur von 10^{15} Kelvin etwa 10^{-10} Sekunden nach dem Urknall. Die Rechnungen werden dabei allerdings immer aufwendiger und die Ergebnisse unsicherer. Will man noch weiter in der Zeit zurückrechnen, so steigen Dichte und Temperatur dieses Plasmas weiter an und unsere Theorien werden immer spekulativer, bis sie schließlich beginnen, zu versagen. Doch worin genau liegt das Problem?

Um das verstehen zu können, müssen wir einen Ausflug bis zu den Grenzen der heute bekannten Physik unternehmen. Im Detail darauf einzugehen, würde den Rahmen dieses Kapitels sprengen – eine ausführliche Einführung dazu findet der Leser beispielsweise in meinem Buch *Die Entdeckung des Unteilbaren*. Wir benötigen aber hier auch nur einige zentrale Aspekte der modernen physikalischen Theorien, und je weiter wir uns im Verlauf dieses Buches vom Urknall entfernen, umso mehr treten die ungewohnten Aspekte der modernen Physik in den Hintergrund und wir können die Welt anschaulich immer besser begreifen.

Die heutigen physikalischen Theorien ruhen auf zwei Grundpfeilern, die beide im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts entdeckt wurden: der *speziellen Relativitätstheorie* und der *Quantenmechanik*. Schauen wir uns die Grundprinzipien dieser beiden Theorien zumindest so weit an, wie sie für uns hier wichtig sind: