

Entstehen der Urknalltheorie

Seit der Mensch denkt, bemüht er sich seine Umwelt zu verstehen, um dadurch Vorteile für ein besseres Leben zu gewinnen. Bereits im sehr frühen Altertum gab es hierzu bei allen Völkern Mythen, Legenden und Geschichten. Sie betrafen u. a. die Erschaffung der Welt aus dem Nichts, ihr Entstehen aus einem Chaos, Erklärungen der wahrgenommenen Ordnung, Hervorgehen aus einem kosmischen Ei oder als Nachkomme zweier Welt-Eltern. Auch eine Titanenfigur hätte ihr Entstehen nach verheerendem Kampf gegen Chaos und Dunkelheit erreicht. Ähnlich der Schöpfungsgeschichte der Bibel werden auch Götter verantwortlich gemacht. Bei allem ist der Anfang der Welt immer ein Problem. Denn jede Aussage führt letztlich zur weiteren Frage, was davor war. So entsteht eine endlose Rückbezüglichkeit (Kreisprozess, Zirkelschluss bzw. Teufelskreis) ein ***circulus vitiosus***. Um ihn zu vermeiden, sagte bereits Platon in seinem Theaitetos „Was ist Erkenntnis?“, *„Wir kommen an einen Punkt, wo wir nicht weitermachen können, also werde ich eine Geschichte erzählen.“* Die hier folgenden Betrachtungen beziehen sich auf den **Urknall der Physik** und zeigen dabei einige Probleme auf. Auf die umfangreichen und mathematisch sehr schwierigen Fragen sei hier verzichtet. Stattdessen sei auf den gut verständlichen und leicht zugänglichen Beitrag in der Wikipedia [Wik23] verwiesen. Er wird sogar offiziell als besonders bewertet. Dieser Artikel wurde am 2. September 2005 in dieser Version in die Liste der lesenswerten Artikel aufgenommen und die ausgewählte Darstellung wurde zuletzt am 15. März 2023 um 16:47 Uhr bearbeitet.

Erste einfache Erklärungen, Vermutungen und Behauptungen sind über 5000 Jahre alt. Hervorzuheben sind hier die Sumerer, Babylonier, Assyrer, Ägypter, Chinesen, Japaner und Inder. Teilweise begründete Vorstellungen besaß dann ***Pythagoras*** von Samos (um 570 bis um 500 v.Chr.). Bereits ***Aristarchos*** von Samos (um 310 bis ca. 250 v.Chr.) hatte erste konkrete Vorstellungen über Erde, Sonne und Mond. Als Erster vermutete er auch ein heliozentrisches Weltsystem (Sonne als Mittelpunkt). ***Hipparchos*** von Nikäia (190 - 125 v.Chr.) schuf den ersten Sternkatalog. Die Planetentheorie entstand durch Claudius ***Ptolemäus*** (um 100 bis ca. 160 n.Chr.). Seine Werke galten unverändert bis ins 16. Jh. Über die Unendlichkeit der Welt philosophierte auf rein theologischer Basis, aber relativ folgerichtig, Kardinal Nikolaus ***Kues*** (auch Cryfftz oder Cusanus; 1401 - 1464). Nikolaus ***Kopernikus*** (1473 - 1543) setzte sich dann konsequent für das heliozentrische Weltsystem ein. Hierzu schrieb er 1510 seinen berühmten Brief an namhafte Astronomen, der allerdings erst 1877 wiedergefunden wurde. 1543 veröffentlichte er eine Zusammenfassung seiner Vorstellungen in „De Revolutionibus Orbium Coelestium“ (Über die Umdrehungen der Himmelskugeln). Etwas später geht Johannes ***Kepler*** (1571 - 1630) von den sehr genauen Beobachtungen des Tycho ***Brahe*** (1546 - 1601) aus und entdeckt dabei die Planetengesetze.

Die ersten Fernrohrbeobachtungen machte Galileo ***Galilei*** (1564 - 1642). Sie stützten deutlich das kopernikanische System. Einige diesbezüglichen Aussagen und vor allem die Probleme mit der katholischen Kirche beschreibt recht gut Bertolt Brecht (1898 – 1956) in seinem „Leben des Galilei“. Schließlich entwickelte Isaac ***Newton*** (1642 - 1727) die Infinitesimal-Rechnung und findet damit die Gravitationsgesetze. So werden wichtige Teile der Himmelsmechanik einheitlich darstellbar. Seine Theorie wird dann von 1905 bzw. 1913 durch die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie von Albert ***Einstein*** (1879 - 1955) deutlich weiterentwickelt. Zunächst war ***Einstein*** davon vollkommen überzeugt, dass das Universum statisch und unveränderlich sei. Aber zu seiner eigenen Überraschung wies seine Theorie

etwas anderes aus. Um die Stabilität zu erzwingen, fügte er daher 1917 den ursprünglichen Gleichungen einen „Antischwerkraftterm“ (als kosmologische Konstante Λ) hinzu.

1922 stellte dann Aleksander Aleksandrowitsch **Friedmann** (1888 - 1925) auf der Basis von Einsteins Gleichungen kosmologische Modelle auf, die ohne diese Konstante auskamen und 1927 entwickelte Georges **Lemaître** (1894 - 1966) eine erste Theorie des „Urknalls“ (englisch: Big Bang). 1929 gewann Edwin Powell **Hubble** (1889 - 1953) über die Rotverschiebung der Sternspektren usw. hierfür Hinweise auf ein sich ausdehnendes Weltall. 1932 gab Einstein seinen Irrtum zu und empfahl Λ als „die größte Eselei meines Lebens“ aus den Gleichungen zu verbannen. Vervollkommenet wurde die Urknall-Theorie 1948 durch George Anthony **Gamow** (1904 - 1968). Er sagte dadurch 1949 die Hintergrundstrahlung voraus, die dann 1965 gefunden wurde. Inzwischen gibt es noch einige, meist jedoch umstrittene, alternative Ansätze. Doch die Urknall-Theorie gilt immer (noch) als wesentliches Standard-Modell. Ihr Verlauf ist sehr stark vereinfacht als **Bild 1** aus [Wik23] übernommen.

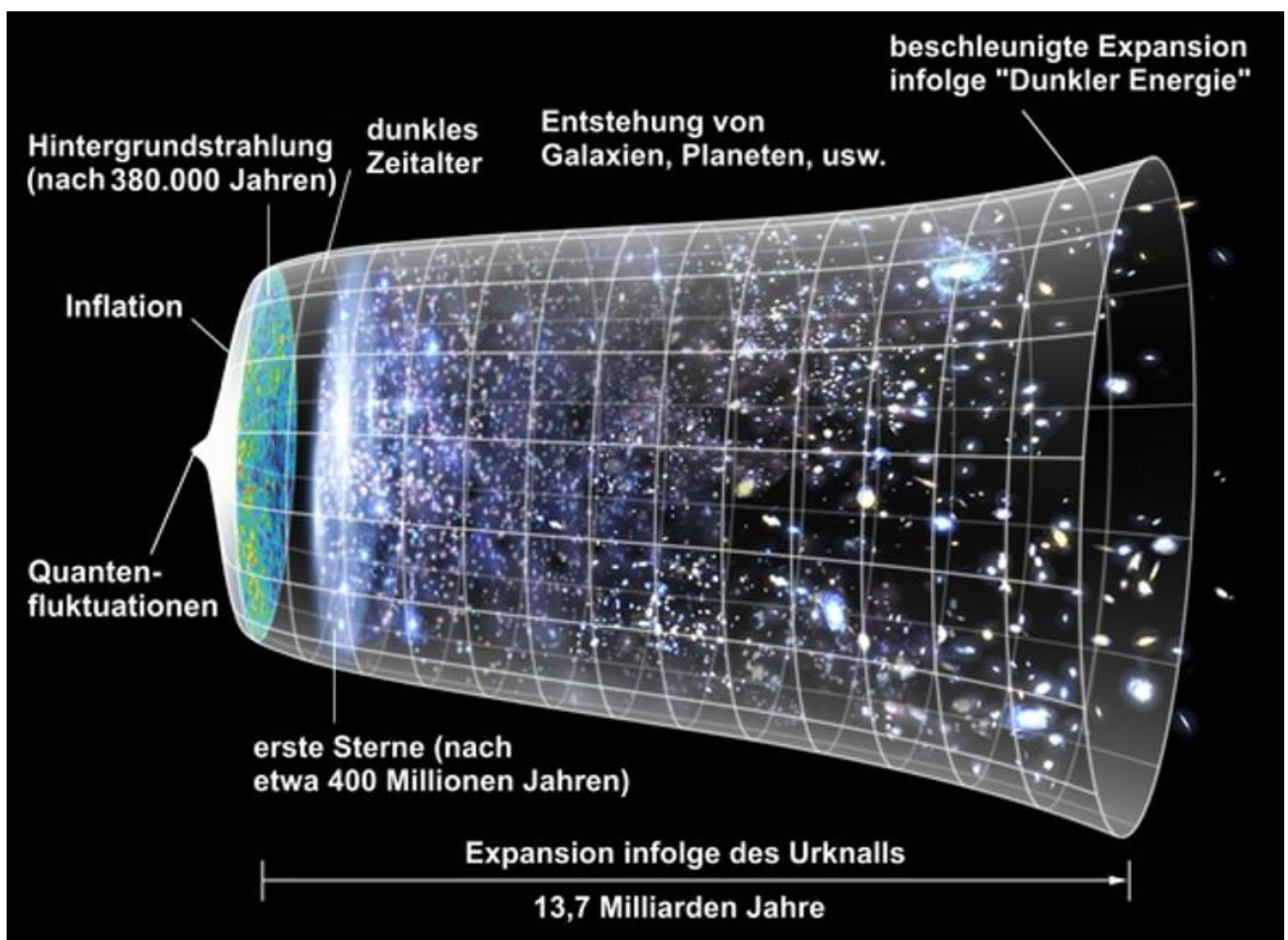


Bild 1. Anschaulich vereinfachte Darstellung des Verlaufs vom Urknall.

Vor ca. 13,8 Milliarden Jahren wurde der Urknall durch eine Quantenfluktuation mit höchster materieller und energetischer Dichte ausgelöst. Dabei entstanden gemeinsam **Materie, Raum und Zeit** aus einer ursprünglichen Singularität (Creatio ex nihilo). Nach einer „Inflation“ entsteht die „Hintergrundstrahlung“. Ihr folgt das dunkle Zeitalter und dann die Expansion mit dem Entstehen von Sternen, Galaxien usw. Waagerecht gerichtet ist also der Zeitverlauf dargestellt. Die jeweils aktuellen Welten sind nur schematisch durch die einzelnen Ellipsen als zweidimensionale Randkurven angedeutet. Sie sollten für die dazugehörigen Zeitpunkte gedanklich zu einer sehr großen dreidimensionalen Kugel ergänzt werden.

Vorstufen zur kritischen Analyse

Infolge des sehr großen Umfangs ist es für die Analyse des Urknalls notwendig, sie in Teilbereichen unter verschiedenen Gesichtspunkten mit den dazugehörigen Analysemethoden durchzuführen. Vorteilhaft erweisen sich dabei die drei Bereiche von **Bild 2**.

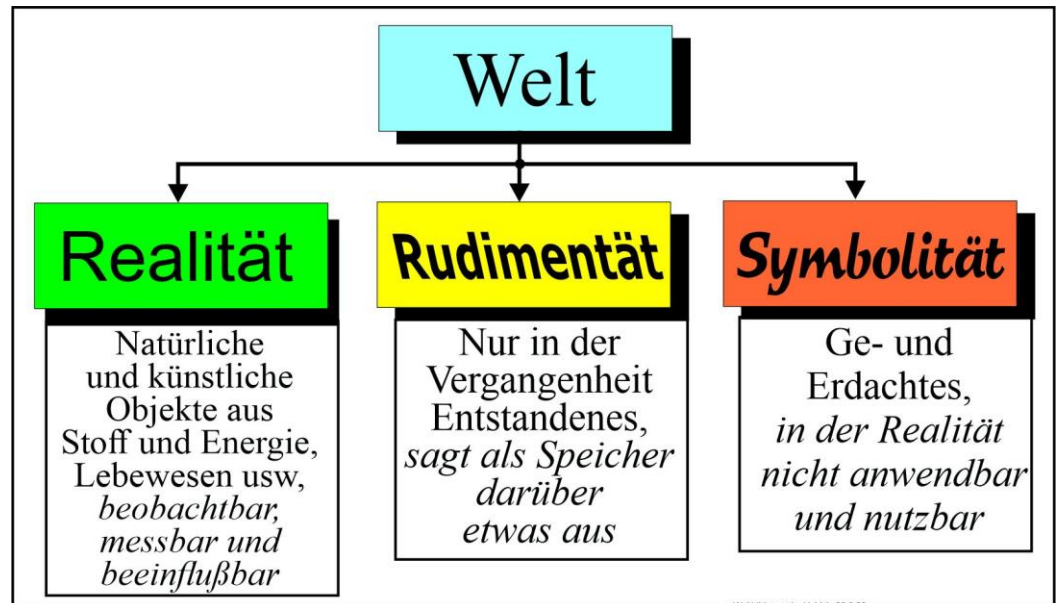


Bild 2. Dreiteilung der Welt für die Urknall-Analyse.

Für die Menschheit ist es primär wichtig, in einer für sie vorteilhaften Welt zu leben und zu überleben. Das betrifft vorrangig die materiellen Lebensbedingungen und wird erheblich durch das Klima und die Ernährung bestimmt. Dazu gehören u. a. Pflanzen und Tiere, aber auch Wasser, Wohnung, Energieversorgung, Bodenschätze, Verkehr und viele andere Techniken. Dies alles und einiges mehr kann als stofflich-energetische **Realität** zusammengefasst werden. Sie ist durch viele Eigenschaften bestimmt, wirkt unmittelbar auf den Menschen ein und wird durch ihn erheblich – nicht nur zum Fortschritt – verändert und erweitert. Hierbei ist das Messen besonders wichtig. Sein Prinzip ist schon recht alt. So steht bereits in einem alten ägyptischen Papyrus:

„Wenn dein Schatten 16 Fuß misst, Berenike, erwartet Amasis dich im Olivenhain ...“

Auch **Sokrates** (470 – 399 v. Chr.) stellte die große Bedeutung der Messung fest:

„Wir sind zahlreichen Sinnestäuschungen ausgesetzt, und das beste Mittel dagegen ist das Messen, Zählen und Wiegen. Der Teil in uns, der sich auf dies Berechnen und Messen verlässt, ist die edelste Kraft unserer Seele.“

Noch genauer belegte dies Peter Omm durch ein ebenfalls altes Zitat [Omm58]:

„Durch Messen erbaut man die Welt. Das sagte vor neunhundert Jahren ein weiser Araber. Ein Wort, das nach wenig klingt und das dennoch alles umfaßt. Beinahe nichts ist möglich ohne das Maß und ohne die Geräte des Messens. Ordnung, Sicherheit und Recht ... berechnen, erschließen und wirtschaftlich arbeiten ... mit dem Messen fängt alles an.“

Bei jeder **Messung** muss die *Qualität* über die Maßeinheit festgelegt und deren Quantität durch die Maßzahl mit Messtoleranz (als Streuung σ) bestimmt werden. Seit 1983 sind für die Qualität 6 Basiseinheiten und die 7 Naturkonstanten entsprechend **Bild 3** auch in ihren Zusammenhängen festgelegt. Auffällig ist, dass nur die *Sekunde* einzig über die Strahlung des Cs-Atoms bestimmt ist. Alle anderen Messwerte usw. hängen dagegen von mehreren Größen ab,

In [Völ96] ist mit den nur wenig abweichenden älteren Festlegungen das umfangreiche Wissen zum Messen zusammengefasst. Dabei sind u. a. getrennt für 65 Maßeinheiten viele Messwerte – von den kleinsten bis zu den größten – in umfangreichen, aber übersichtlichen Skalen angeordnet. Zusätzlich werden 43 Naturkonstanten angegeben.

	Konstante	exakter Wert		seit
$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	Strahlung des Cs-Atoms	9 192 631 770	Hz	1967
c	Lichtgeschwindigkeit	299 792 458	m/s	1983
h	Planck Wirkungsquant	6.62607015 $\cdot 10^{-34}$	J·s	2019
e	Elementarladung	1.602176634 $\cdot 10^{-19}$	C	2019
k_B	Boltzmann-Konstante	1.380649 $\cdot 10^{-23}$	J/K	2019
N_A	Avogadro-Konstante	6.02214076 $\cdot 10^{23}$	mol ⁻¹	2019
K_{cd}	Strahlungs-äquivalent	683	lm/W	1979

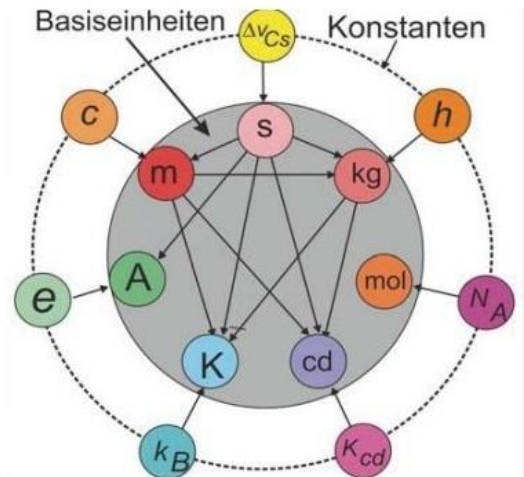


Bild 3. Die seit wenigen Jahren festgelegten Basiseinheiten und Naturkonstanten. Aus beiden werden heute alle o. g. Maßeinheiten und Konstanten abgeleitet.

Jeder gewonnene Messwert x hängt von vielen Einflüssen ab, die u. a. durch das Messobjekt und Messinstrument bestimmt werden. Auch Wiederholungen der Messung stimmen selten exakt überein. Diese Abweichungen bewirken die Gauß'sche Glockenkurve von **Bild 4**. Ihr Maximum ergibt den Erwartungswert x_0 . Dazu gehört dann die Streuung σ , in die 68,3 % aller Messwerte einbezogen werden.

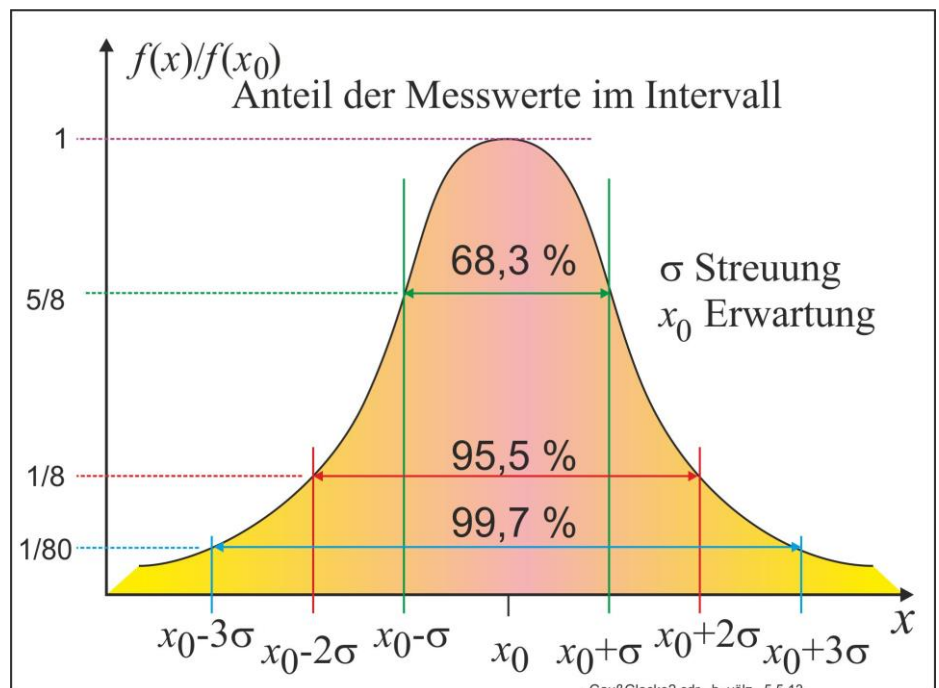


Bild 4. Die Gauß'sche Glockenkurve der Fehlerrechnung.

Aber darüber hinaus kann es Ausreißer geben, die dann aber meist nicht weiter zu berücksichtigen sind. So lautet ein Messergebnis $x = x_0 \pm \sigma$. Es muss noch um die Maßeinheit ergänzt werden, also z. B. gemäß:

$$x = 45,34 \pm 0,05 \text{ kg.}$$

Infolge der Streuung ist nur eine begrenzte Stellenzahl des Messwertes gültig. Prinzipiell können aber auch jenseits der Streuung einzelne Ausreißer auftreten. Für die weiteren Betrachtungen sind sie jedoch meist zu vernachlässigen [Völ21].

Umfangreichere Messergebnisse liefern **Experimente (Bild 5)**, die erst relativ spät in die Wissenschaft kamen. Als Erster wies um 1300 Wilhelm Ockham (1230 – 1384) gedanklich und dann später Nikolaus von Kues (eigentlich Nicolaus Cryfftz = Casanus, 1401– 1464) auch auf seinen Vorteil und sogar auf seine Notwendigkeit hin. Den entscheidenden Schritt vollzog erst Galileo Galilei (1564 – 1642), insbesondere durch seine Fallversuche ab 1589. Häufig erfolgt ein Experiment erst auf der Grundlage einer Hypothese oder Vermutung. Daher sprach Carl Friedrich von Weizsäcker (1912 – 2007) von einem „Verhör“ der Natur.

Beim Experiment bewirken genau definierte Beeinflussungen Änderungen in der Realität. Sie werden dabei festgestellt. Gewöhnlich wird dabei zusätzlich ein Bereich der Realität abgegrenzt, also von seiner Umgebung isoliert. So sind nur Änderungen in diesem Bereich festzustellen.

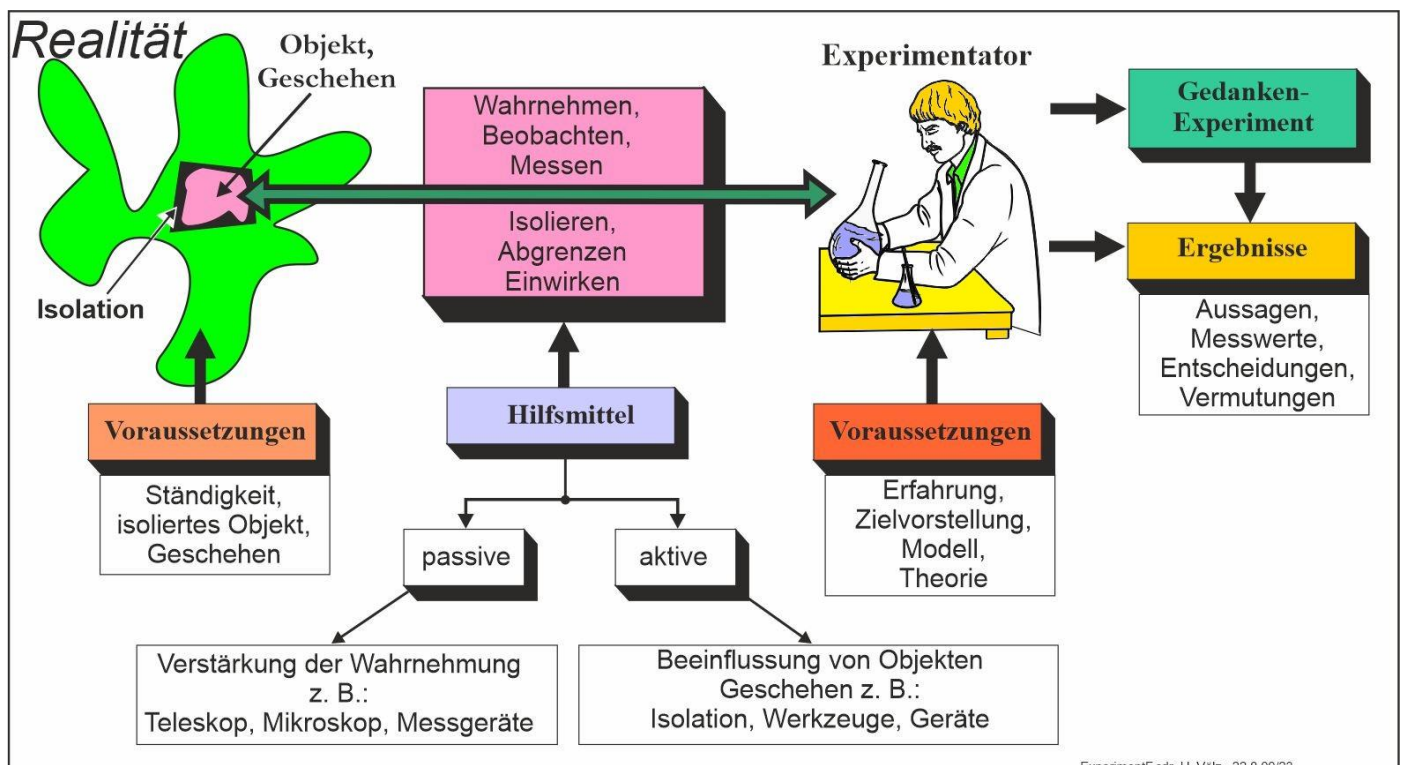


Bild 5. Wirkungsmechanismen bei einem Experiment.

Messung und Experiment verlangen die aktuelle Realität. Sie können (fast) nichts Gültiges über die Vergangenheit und/oder die Zukunft aussagen. Es sei denn, dass ein Mensch sich an entsprechende Details von damals erinnert und/oder entsprechende Ergebnisse gespeichert wurden. Es existieren aber auch recht viele Objekte, Rückstände usw. aus der Vergangenheit. So gibt es aktuell u. a. Skelette von Dinosauriern, Fliegen in Bernstein und vielfältige Rückstände von heute nicht mehr existierenden Lebewesen, Objekten, Fossilien, Ablagerungen usw. Auch Meteoriten, Überschwemmungen und ähnliches haben einst heute gut erkennbare Veränderungen bewirkt. Alle zusammen sind gewissermaßen Rudimente der Vergangenheit. Messungen an ihnen oder Experimente mit ihnen sagen zunächst nur etwas über ihre *aktuellen* Eigenschaften aus. Die der Vergangenheit müssen erst mittelbar bestimmt (berechnet) werden und zusätzlich ist dazu noch der entsprechende gültige Zeitpunkt zu bestimmen. Das ist recht ähnlich damit, wie bei der Kriminalität die Spuren von Verbrechen gesucht und – wenn gefunden – ausgenutzt werden. Genau dies alles zusammen bildet den Bereich der **Rudimentät** (Bild 2) und verlangt einen deutlich erweiterten Aufwand, um den ausgewählten Zeitpunkt festzulegen und die dazugehörigen Eigenschaften zu bestimmen.

Es gibt aber Gebiete und Inhalte, die keine unmittelbaren Objekte zur *Messung ermöglichen*. Das tritt u. a. dann ein, wenn sie dafür zu weit entfernt sind, wie etwa Sterne, Galaxien usw. Es kann auch für den Menschen zu gefährlich sein, sich dorthinzubegeben, was u. a. bei hoher Radioaktivität, Energie oder schädlichen Stoffen auftritt. Diese Bereiche sind in Bild 2 als **Symbolität** bezeichnet. An die Stelle der eigentlichen Messung müssen dann mittelbare Methoden, u. a. Denken und Berechnen, treten. Hierbei wird allgemein die Ständigkeit für die ganze Welt vorausgesetzt. Dabei wird verlangt, dass in ihr primär nur gleichartige Grundmaterialien, wie Elementarteilchen, Atome, Energiearten usw., vorkommen und die dazugehörigen Gesetze überall gelten. Doch einen allgemeingültigen Beweis hierfür gibt es nicht, es hat sich aber weitgehend bewährt. Doch weil es auch in anderen Bereichen gilt, wird angenommen, dass unser logisch Denken (der gesunde Menschenverstand und die mathematischen Gesetze (Formeln usw.) immer verbindlich sind.

Dies alles sind für die Weltanalyse und damit für den Urknall wesentliche Voraussetzungen. Um ihr Vorhandensein zu überprüfen, ist vor allem der Verlauf der wichtigsten physikalischen Parameter, wie Durchmesser, Temperatur, Strahlungs- und Materiedichte, als Funktion der Zeit zu bestimmen. Hierfür wurde die heute allgemein übliche Darstellung gemäß **Bild 6** als Vertiefung von Bild 1 gewählt.

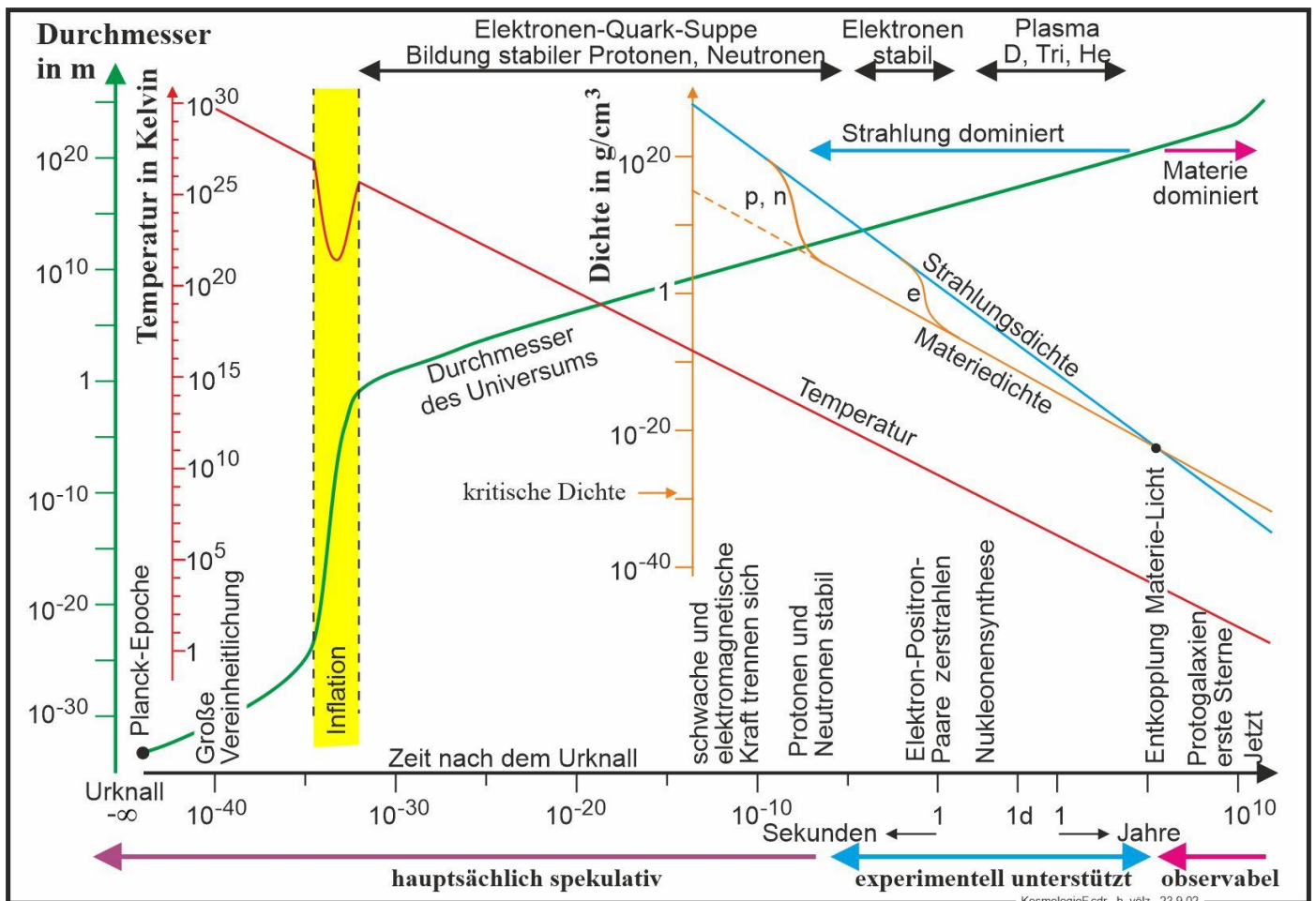


Bild 6. Heute meist angenommener Verlauf der physikalischen Messwerte beim Urknall.

Probleme der Zeit

Für Unsicherheiten bei der Zeit gibt es sehr viele Zitate. Bereits der Kirchenvater **Augustinus** (354 - 430) fasst einiges wie folgt zusammen:

„Denn was also ist Zeit. Wer könnte das leicht und kurz erklären? Wer vermöchte es auch nur gedanklich zu begreifen, um sich dann im Wort darüber auszusprechen? Gleichwohl, was ginge uns beim Reden vertrauter und geläufiger vom Munde als „Zeit“? Beim Aussprechen des Wortes verstehen wir auch, was es meint, und verstehen es gleichso, wenn wir es einen anderen aussprechen hören? Solang mich niemand fragt, ist mir's, als wüßte ich's, doch fragt man mich und soll ich es erklären, so weiß ich's nicht. Aber zuversichtlich behaupte ich zu wissen, dass es vergangene Zeit nicht gäbe, wenn nichts verginge, und nicht künftige Zeit, wenn nichts herankäme, und nicht gegenwärtige Zeit, wenn nichts seiend wäre“ außer dem, dass Gott die Welt nicht in, sondern mit der Zeit erschaffen hat.“

Leider ist die Zeit auch keine physikalische Größe. Hierzu sei von Einstein ausgegangen:

„Die Zeit ist das, was man auf einer Uhr ablesen kann.“

Er hielt auch die Bemühungen bezüglich einer Zeitrichtung für fruchtlos und vier Wochen vor seinem Tode (1955) schreibt er sogar:

„Für uns gläubige Physiker hat der Unterschied von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft nur den Charakter einer, wenngleich hartnäckigen Illusion“... „Zeit ist nicht ein unabhängiges Seiendes, sondern eine Ordnungsform der Materie.“

Es sei lediglich noch Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716) hinzugefügt. Er meinte, das Universum sei eine Uhr. Zeit und Raum sind nur gedankliche Konstruktionen, um die Beziehungen zwischen Ereignissen zu beschreiben. Sie haben kein „Wesen“ und es gebe daher auch keinen „Fluss“ der Zeit und ergänzte dann:

„Die Zeit ist die Ordnung des nicht zugleich Existierenden. Sie ist somit die allgemeine Ordnung der Veränderungen, in der nämlich nicht auf die bestimmte Art der Veränderungen gesehen wird.“

Im **System International** (SI) wird sie schon länger so definiert:

„Die Basiseinheit 1 Sekunde (1 s) ist die Dauer von 9 192 631 770 Perioden der Strahlung ($\approx 9,2 \text{ GHz} \approx 10^{10} \text{ Hz}$; H. V.), die dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes des Atoms Cäsium 133 entspricht“.

Zeit wird also mittels einer streng periodischen Schwingung gezählt. Das geschieht recht ähnlich, wie wir etwa Äpfel, Birnen oder Gegenstände zählen und es neben den Sekunden auch bei Minuten, Stunden, Tagen, Wochen, Monaten oder Jahren durchführen. Gegenüber anderen Messungen und Zählungen verlangt die Zeit, dass zwei Messpunkte, **Anfang und Ende**, getrennt durch je einen Zeitpunkt (z. B. eine Änderung oder ein Geschehen) auszuwählen sind (vgl. **Bild 7**). In ausgewählten Fällen kann einer durch fest bestimmte Ereignisse, wie Mitternacht, Neujahr, vor oder nach Christi usw., bestimmt werden. Kritisch ist das zumindest in der Nähe des Urknalls. Zumindest bei $\leq 10^{-30}$ bis 10 müsste eine Frequenz

von deutlich höher als 10^{40} Hz verwendet werden. Sie dürfte aber kaum jemals hinreichend genau zur Verfügung stehen. Aus diesen und weiteren Gründen wird der Anfangsbereich der Urknalltheorie als *spekulativ* bezeichnet (in Bild 2 rot gekennzeichnet, vgl. auch Symbolität).

Doch warum werden diese extrem kleinen Zeiten überhaupt benutzt? Das hängt mit den von Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 – 1947) eingeführten Planck-Größen zusammen. Als es ihm endlich 1899 gelang, den Amplitudenverlauf der Strahlung des Schwarzen Körpers (s. Physik) vollständig zu beschreiben, entdeckte er das heute fundamentale Planck'sche Wirkungsquantum h , wodurch die Quantenphysik eingeläutet wurde. Dadurch ließen sich auch die Werte für das absolute Maßsystem ableiten.

$$m_{\text{Pl}} = \sqrt{hc/G} = 5,456 \dots \cdot 10^{-11} \text{ g (Planck-Masse),}$$

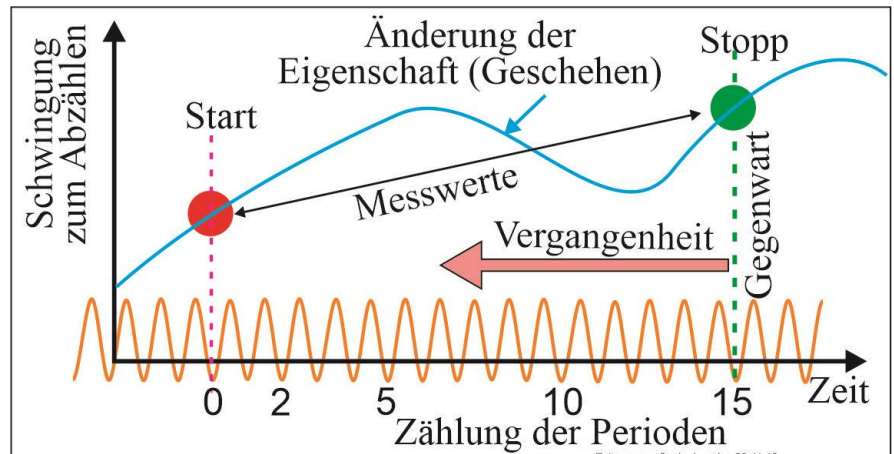
$$l_{\text{Pl}} = \sqrt{hG/c^3} = 4,051 \dots \cdot 10^{-35} \text{ m (Planck-Länge),}$$

$$t_{\text{Pl}} = \sqrt{hG/c^5} = 1,351 \dots \cdot 10^{-43} \text{ s (Planck-Zeit).}$$

Darin bedeuten $c = 2,99792457 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ die Lichtgeschwindigkeit, $h = 6,62607554 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ das Planck'sche Wirkungsquantum und $G = 6,67259085 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^2/\text{g}^2$ die Gravitationskonstante.

In diesem Maßsystem müssen alle Maßzahlen *ganzzahlige* Vielfache sein. Es kann also nichts Kleineres geben. Das legte dann den Urknall, also den Beginn der Welt, für die mutmaßliche Quantenfluktuation (*Creatio ex nihilo*) fest.

Bild 7. Prinzip der Zeitmessung.



Bleibt die Frage, Woher die Werte von 10^{-40} s bis etwa 10^{-5} s nach dem Urknall stammen. Denn etwa erst ab hier liegen „Rudimente“ (Speicherungen) im o. g. Bereich vor. Mit ihnen erfolgte eine Rückrechnung gemäß den Formeln der allgemeinen Relativitätstheorie. Doch dabei sind einmal die bei $\geq 10^{-5} \text{ s}$ erhaltenen Werte unsicher (s. o.). Zum anderen sind Rückrechnungen immer irgendwie recht unsicher. Das belegen die beiden Beispiele von **Bild 8** recht deutlich.

Beim Billard (4a) sind aus der Geschwindigkeit und Richtung kurz vor dem Erreichen des Lochs durch keine Rückrechnung weder der Ort noch die Zeit für den ursprünglichen Stoß zu ermitteln. Selbst unter Beachtung der Reibungs- und Stoßverluste würde sich der Weg bis nahezu ins Unendliche fortsetzen (b). Bei einer Stellung im Schachspiel (c) können wir einigermaßen gut den nächsten Zug voraussehen, aber nur dann, wenn wir wissen, wer am Zug ist. Doch auch das ist nicht immer eindeutig aus der Stellung abzuleiten. Weiter lässt sich ein endliches Spiel nicht vom Ende her rückwärts spielen. Das gilt ähnlich auch für Automaten und Programme. Es gibt aber einzelne Beispiele für eine gewisse Rückrechnung. So lässt sich aus dem Geburtstag der Tag der Zeugung einigermaßen genau bestimmen. Ähnliches ist bei mehreren streng deterministischen Zusammenhängen zwischen Ursache und Wirkung möglich. Aber eine weitere Rückrechnung auf die Ursache der Ursache führt alsbald zum unendlichen Regress (s. zu Beginn *circulus vitiosus*).

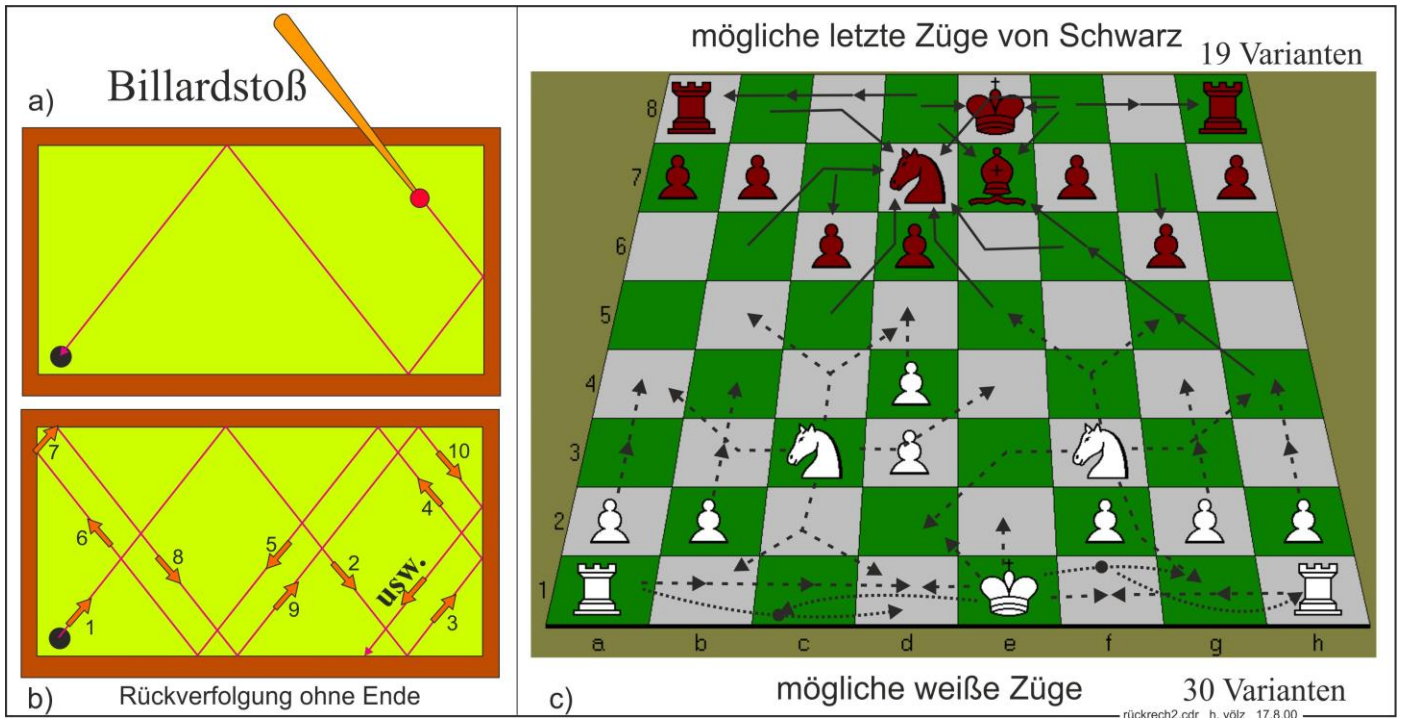


Bild 8. Beispiele für die typischen Probleme bei einer Rückrechnung.

Zeitskalen

Bei Bild 6 zum Urknall wird eine sonst unübliche Zeitskala benutzt. In der Nähe der Gegenwart sind die Zeitsprünge recht groß und nehmen steil und zu kleinen bis zu kleinsten Sprüngen in der Vergangenheit ab. Das ist total gegensätzlich zu fast allen anderen Zeitdarstellungen. Das ergibt sich dabei zwangsweise daraus, dass dort entsprechend der Rudimentärheit immer weniger gespeicherte Fakten vorliegen. **Bild 9** zeigt die erreichbaren Speicherkapazitäten in Bit bis zum jeweils erreichbaren Maximum. Ergänzend zeigt **Bild 10** – neben vielen anderen Beispielen – die Entwicklung vom Erscheinen des Affen bis zur Bronzezeit.

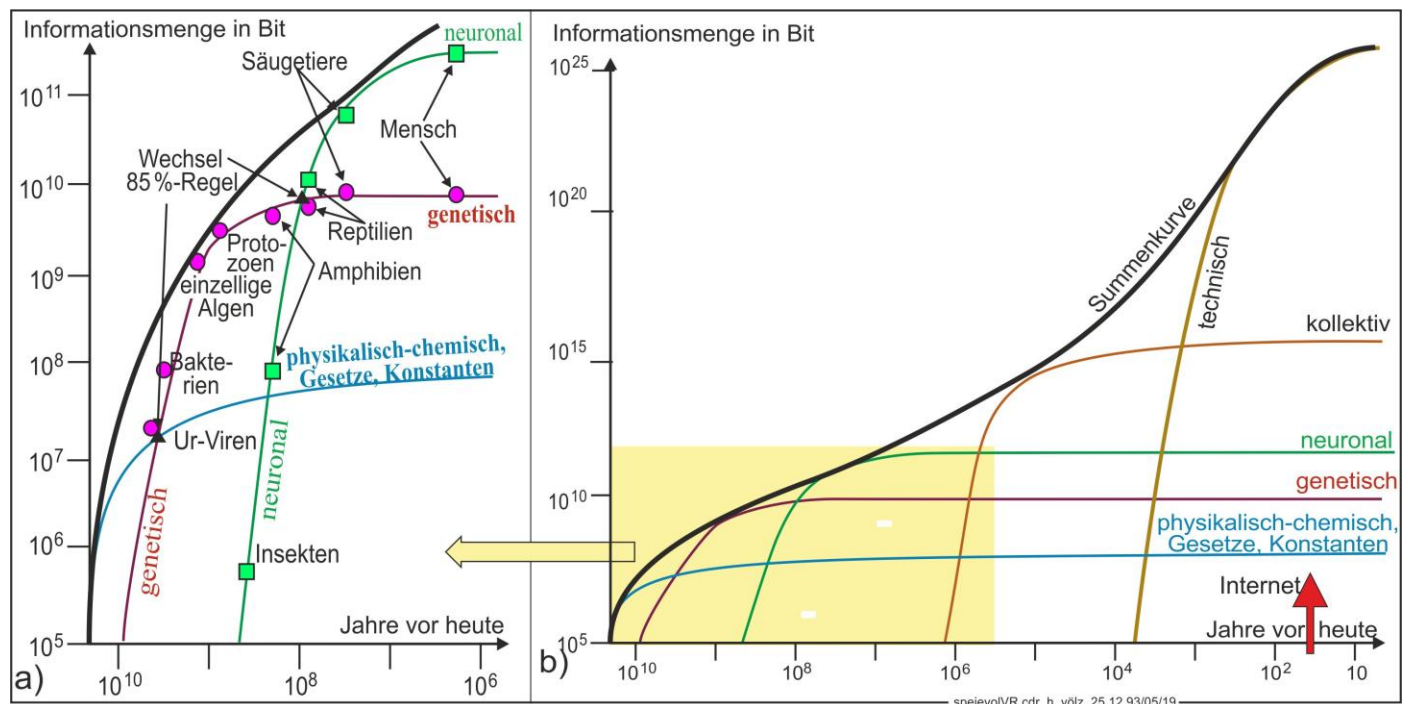


Bild 9. Zeitverlauf der möglichen Speicherkapazität [Völ19b].

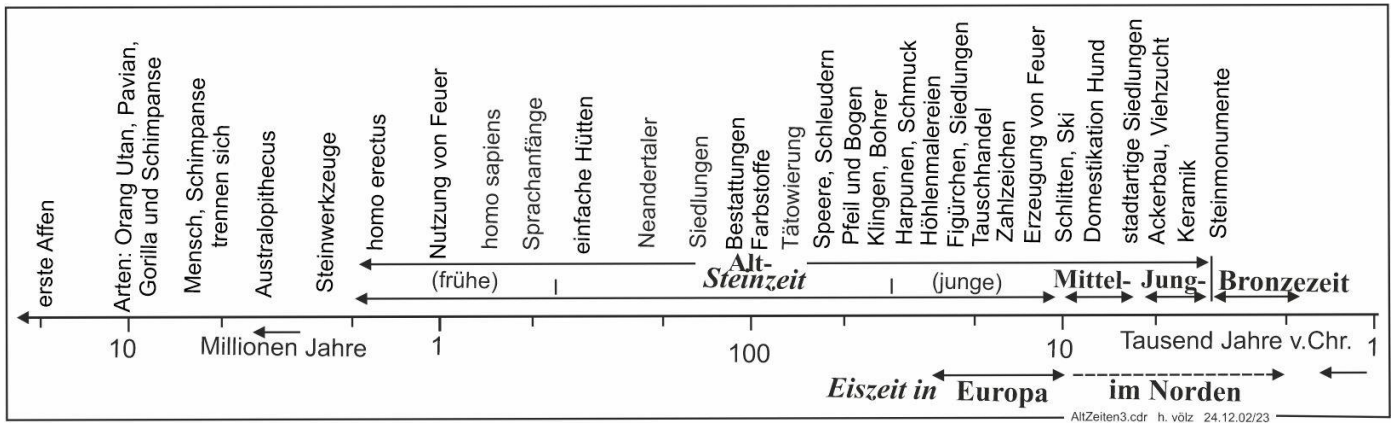
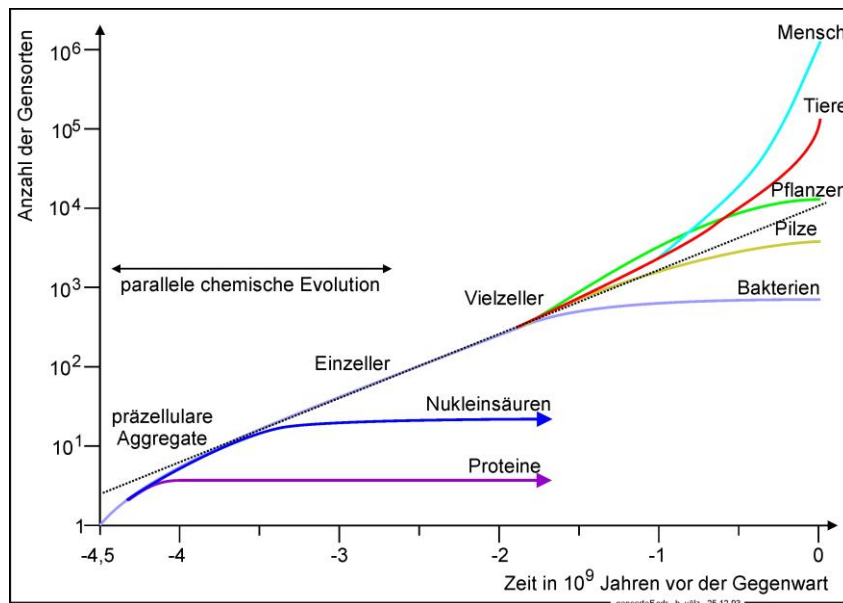


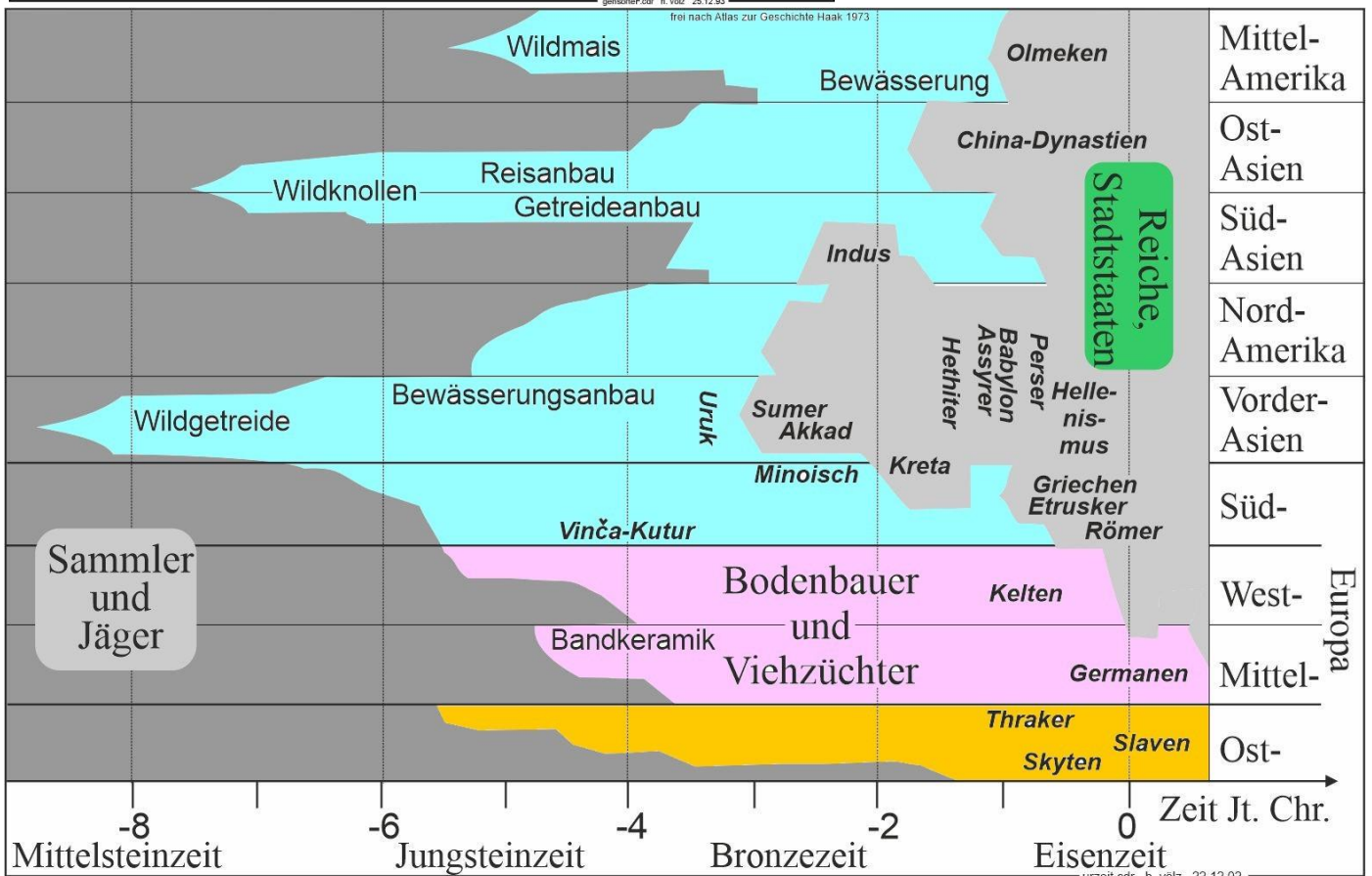
Bild 10. Vom Auftauchen des Affen bis zu Anfangsentwicklungen der Menschheit.



Die beiden folgenden Bilder belegen zusätzlich zwei wichtige Möglichkeiten mit **gleichabständigen Skalen**.

Bild 11 (nebenstehend) ist auch ein Beispiel für die Evolution.

Bild 12 (unten) zeigt Details zum Beginn unserer Kultur.



Es kann aber auch sinnvoll sein, beide Methoden nebeneinander zu benutzen. Das erfolgte bei der Bestimmung der Leistungen unseres Gedächtnisses entsprechend **Bild 13** [Völ03]. Hierzu hatte als Erster 1885 Hermann Ebbinghaus (1850 - 1909) begonnen, gerade das Vergessen von Gelerntem als Funktion der Zeit zu bestimmen. Seine Probanden mussten sinnlose Silben lernen und wurden dann nach verschiedenen Zeiten abgefragt, an welche sie sich noch erinnern konnten. So entstanden z. B. die Kurven von a). In anderen Teilbildern sind dann auch Kurven von zwei anderen Autoren eingetragen, die u. a. statt der sinnlosen Silben auch 5-ziffrige Zufallszahlen benutzten. Auffallend ist der vorwiegend exponentielle Abfall. Spätere, genauere Untersuchungen zeigten, dass die Zusammenhänge komplizierter sind (b und c). Zunächst erfolgt ein schneller, intensiver Verlust und danach geht die Abnahme wesentlich langsamer vonstatten. Dies lässt zwei unterschiedliche Näherungen zu, nämlich ein „Kurzzeit-Gedächtnis“ gemäß d) und ein Langzeit-Gedächtnis gemäß e). Eine andere Studie [Fis98] fragt, an wie viele Ereignisse sich jemand in einem Zeitraum erinnern kann. Sie ermöglicht wiederum eine gute exponentielle Approximation f).

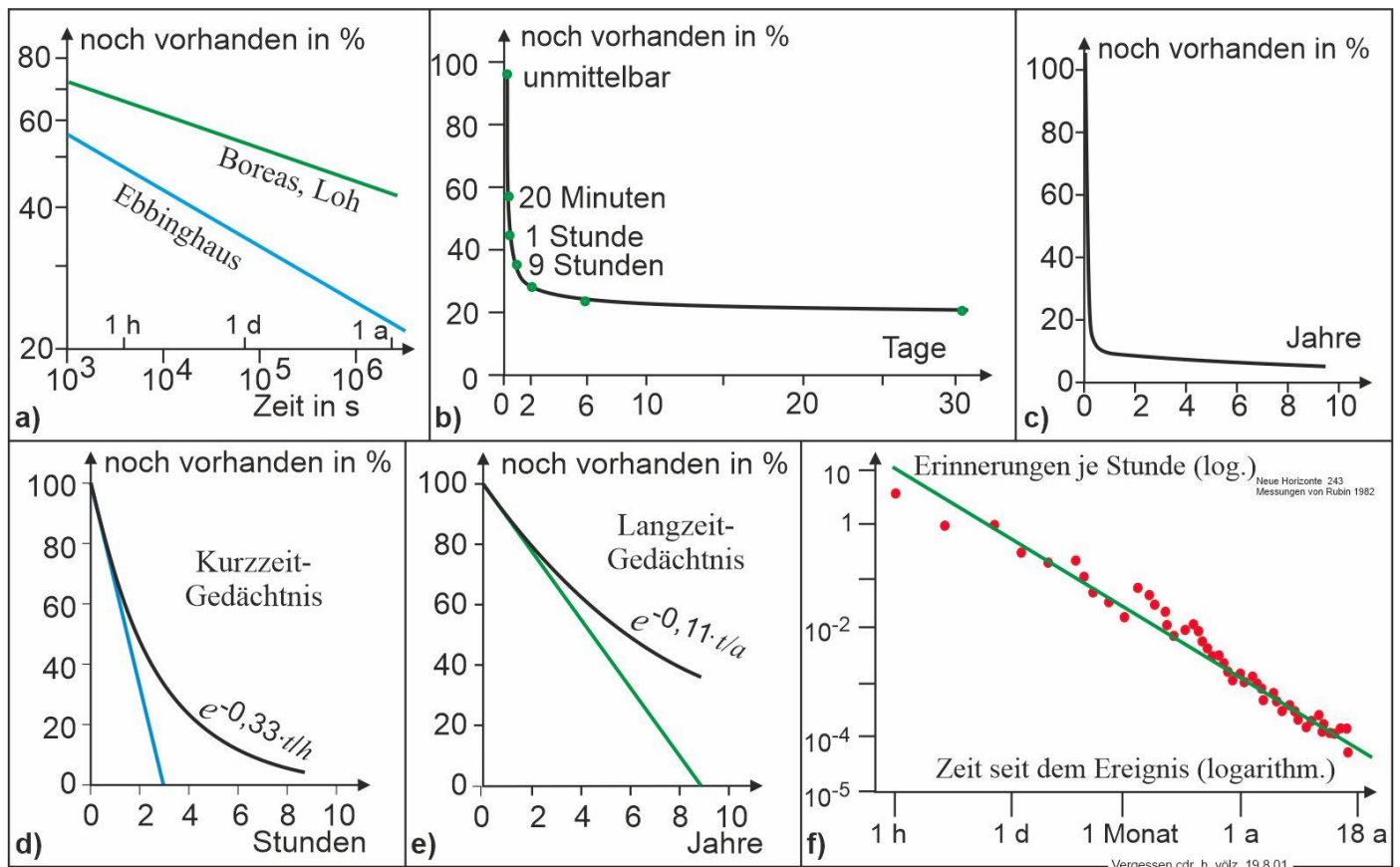


Bild 13. Zeitverläufe für unsere Gedächtnisse.

Aus all diesen und weiteren Beispielen folgt, dass etwas mit der Zeiteinteilung beim Urknallmodell zumindest unwahrscheinlich ist. Unabhängig davon kann sie aber der heute recht umfassend angewendeten **Evolutionstheorie** des Lebens zugeordnet werden. Diese wurde 1859 durch das Buch „Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“ von Charles Robert Darwin (1809 - 1882) eingeführt [Dar86]. Weil er viele Einwände, insbesondere von der Kirche, erwartete, hat er sich erst sehr spät zur Veröffentlichung entschieden. Heute wird sie sogar weit über das Leben hinaus als gültig angenommen (Ausnahme einige USA-Staaten) und so auf fast alle möglichen Entwicklungen übertragen, selbst einschließlich kultureller Entwicklungen und technischer Fortschritte. Mehrere Beispiele hierzu enthält u.a. [Nod94]. Evolution erfolgt immer von der Vergangenheit in die Zukunft. Die Vergangenheit kennen

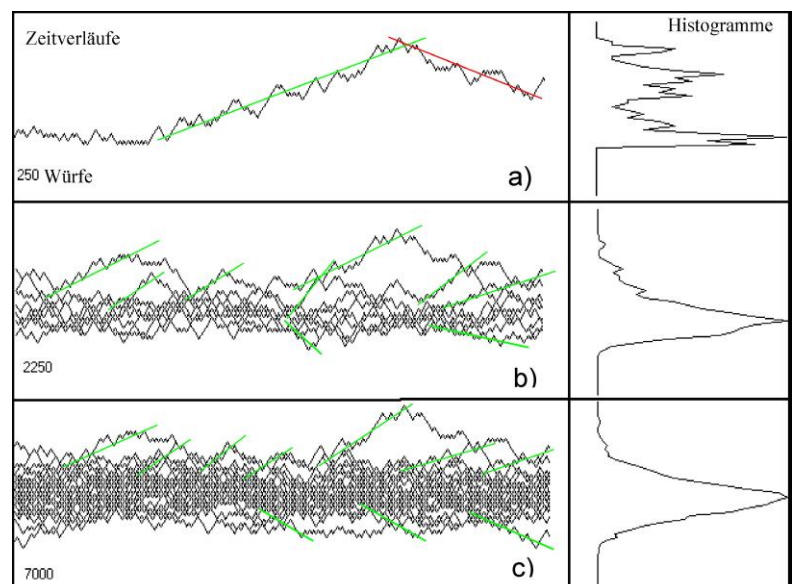
wir aber nur dann, wenn damals etwas gespeichert oder bewusst aufgehoben wurde (vgl. Bild 2 Rudimentät). Für die Zukunft kennt die Evolution kein Ziel. Das Neue entsteht einfach und muss sich dann behaupten. Wegen des Fehlens überprüfbarer Voraussagen wurde sie daher lange Zeit angezweifelt. Doch seit etwa 2000 wurden Experimente möglich. Dazu dienen Bakterien mit einem Generationswechsel von nur etwa 20 Minuten. Hierbei wirken mehrere Stämme in Konkurrenz aufeinander. Aus vielen Möglichkeiten werden immer nur eine oder mehrere Varianten (die Fittesten) zur vorherrschenden Wirklichkeit. Ungeklärt ist dabei der Beginn, denn hier besteht die Gefahr des Zirkelschlusses (s. S. 1). Genau deshalb wurde in [Völ22] folgender Ablauf benutzt:

1. Wechselwirkungen mit benachbarten Elementarteilchen für neue Moleküle
2. Polymerchemie mit teilweise zusätzlicher Verstärkung (Enzyme)
3. Anorganische Kohlenstoff-Chemie als Übergang zur organischen Chemie
4. Organische Chemie als Grundlage für die Entstehung des Lebens (DNS-Helix)
5. Mensch mit Selbsterkenntnis und freiem Willen
6. Übergang zur Symbolität

Zeitpfeile

Zeitliche Änderungen treten nur in Richtung Zukunft auf, von der Ursache zur Wirkung. Der Begriff Zeitpfeil wurde 1927 von Sir Arthur Stanley Eddington (1882 – 1944) im Kontext von Irreversibilität geprägt und steht im deutlichen Gegensatz zu allen Gesetzen der (klassischen) Physik und der Quantenphysik. Dort kann sich an den Aussagen, dem Geschehen nichts ändern, wenn t gegen $-t$ getauscht wird. Dagegen sprechen unsere täglichen Erfahrungen. Wir bemerken sofort, wenn ein Film rückwärts abläuft. Dem Zeitpfeil werden etwa 10 unterschiedliche Varianten zugeordnet. Die **Evolution** erfolgt von einfachen zu komplexen Systemen, wobei das fitteste überlebt. Beim Urknall dehnt sich das **Weltall** seit Beginn aus. **Elektromagnetische, Schall-Wellen** usw. breiten sich von einem Punkt in alle Richtungen aus, kommen aber nicht von allein in einem Punkt wieder zusammen. Der **radioaktive Zerfall** kehrt sich nicht um. **Thermische Energie** geht immer vom wärmeren zum kälteren System. Dabei wird die Entropie, also die Unordnung maximiert (3. Hauptsatz), führt zum Wärmetod. Aus der statistischen Physik stammt die zeitweilige Umkehr von Tatiana und Paul Ehrenfest 1907 (später **Hund-Flöhe-Modell** benannt). Es benutzt 2 Urnen (Hunde), n nummerierte Steine (Flöhe) und einen Zufallsgenerator (Zahlen 1 bis n). Wird die Zahl $1 \leq x \leq n$ gewürfelt, so wird der Stein in die andere Urne gelegt (anderer Hund). Eine Simulation zeigt **Bild 14**. Dabei sind immer 250 weitere Züge in der Zeile dargestellt. Die erste Folge zeigt (a). Bei der rot dargestellten Hilfslinie weist der Zeitpfeil zur Gleichverteilung der Flöhe auf beide Hunde. Die grüne Linie zeigt zur Evolution. Bei (b) sind 2.250 und bei (c) 7.000 Würfe übereinandergeschrieben. Zur Übersicht sind nur einige grüne Hilfslinien ergänzt. Kurzfristig treten immer wieder beide Zeitpfeile auf.

Bild 14. Simulation des Hund-Flöhe-Modells.



Systemzeiten

Eigentlich gibt es keine Zeit, sondern nur Veränderungen (vgl. Bild 7). Sie ist nur ein Mittel zur Beschreibung und Ordnung des Geschehens. Es werden jedoch drei Varianten benutzt:

1. Die **absolute** oder objektive **Zeit** t_{abs} ist gemäß der im SI definierten Sekunde durch Zählen der Taktfrequenz bestimmt (s. S. 7).
2. Die **subjektive Zeit** t_{sub} geht auf das Althochdeutsche *zit* als Abgeteiltes zurück. Damals gab es nur grobe Einteilungen, wie morgens, mittags und abends. Gezählt wurden aber bereits Tage, Wochen und Jahre. Sie ist wesentlich von unserem **Bewusstsein**, Erleben und Interessen bestimmt und daher stark veränderlich. Typisch hierfür ist: Wenn wir Schönes erleben, dann spüren wir kaum etwas von der Zeit. Dagegen wird sie deutlich bei Langweile und beim Warten auf etwas – meist sogar unangenehm – spürbar. Tiere kennen keine Zeit und damit Langweile! Ihnen fehlt dazu unser Gegenwartsgedächtnis.
3. Die **interne Eigen- bzw. Systemzeit** t_{int} kann als spezielle absolute Zeit angesehen werden. Sie gilt für weitgehend abgeschlossene Systeme. Durch verschiedene externe und interne Einflüsse erfolgen dann Veränderungen der in ihnen ablaufenden Geschwindigkeiten. Besonders deutlich und umfangreich geschieht das durch die Temperatur. Einige dieser Effekte werden auch im täglichen Leben genutzt.

Für **chemische Reaktionen** stellte Jacobus Hendricicus van't Hoff (1852 – 1911) experimentell fest, dass Reaktionen etwa 2- bis 3-mal so schnell ablaufen, wenn die Temperatur um ca. 10°C erhöht wird. Für die molare Geschwindigkeitskonstante k_g der jeweiligen Reaktion gilt mit der Boltzmann-Konstante k , der absoluten Temperatur T , der Aktivierungsenergie E_A in J/mol mit einer Konstanten A sowie $B = e^{-E_A/k}$ gilt

$$k_g = A \cdot e^{\frac{-E_A}{k \cdot T}} = A \cdot B^{1/T}$$

Die mit der Temperatur erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit entspricht der Systemzeit. Dabei ist A eine für die Reaktion charakteristische Konstante, die auch selbst temperaturabhängig ist. Mit einem Faktor u^* gilt oft als brauchbare Näherung

$$A = u^* \cdot \sqrt{T}.$$

Leider sind A und B schwer zu bestimmen. In Fortführung der Untersuchungen fand dann 1896 Svante August Arrhenius (1850 – 1927) das nach ihm benannte Gesetz für die Halbwertszeit t_H chemischer Reaktionen (50 % ist umgesetzt):

$$t_H = t_0 \cdot e^{\frac{E_A}{k \cdot T}}.$$

Darin ist E_A (zuweilen auch ΔE genannt) die Energieschwelle des Stoffes. Statt A ist die Zeitkonstante t_0 eingeführt. In brauchbarer Näherung beträgt sie für Elektronenbahnen $\approx 3 \cdot 10^{-15}$ s und für Gitterschwingungen $\approx 10^{-4}$ s. Ihr Wert hängt auch etwas von weiteren Parametern ab, u. a. von der jeweiligen Umweltisolierung. Mit nicht an der Reaktion direkt beteiligte Enzyme oder Katalysatoren sind zusätzliche Beschleunigungen zu erreichen. Es gibt auch Hemmstoffe, welche die Reaktion verlangsamen.

Erste experimentelle Untersuchungen für die **Zuverlässigkeit von Bauelementen** unternahm 1930 Montsinger. Für die Lebensdauer (Nutzbarkeit) t_L isolierender Kabelpapiere fand er dabei die Arrhenius-ähnliche Gleichung:

$$t_L = t_0 \cdot e^{-A \cdot T}.$$

Darin sind t_0 und A experimentelle, materialabhängige Konstanten. Mit steigender **Temperatur** verkürzt sich also die Lebensdauer. Für die Nutzer (von Geräten usw.) wird eine statistisch gesicherte Garantiezeit t_g bei der üblichen Betriebstemperatur T_A verlangt. Zu deren Bestimmung sind umfangreiche Messungen an vielen Ausführungen notwendig. Sie würden bei der Betriebstemperatur oft mehrere Jahre dauern. Danach wird dann aber bereits eine neue (verbesserte) Variante produziert und der alte Wert ist dann sinnlos geworden. Folglich wird zur Bestimmung von t_g der Verschleiß absichtlich durch eine höhere Messtemperatur T_M vergrößert. Dieses Prinzip ist als **beschleunigte Alterung** bekannt. Für sie wird eine geringfügig veränderte Arrhenius-Gleichung benutzt:

$$t_g = t_M \cdot e^{\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_M} \right)}$$

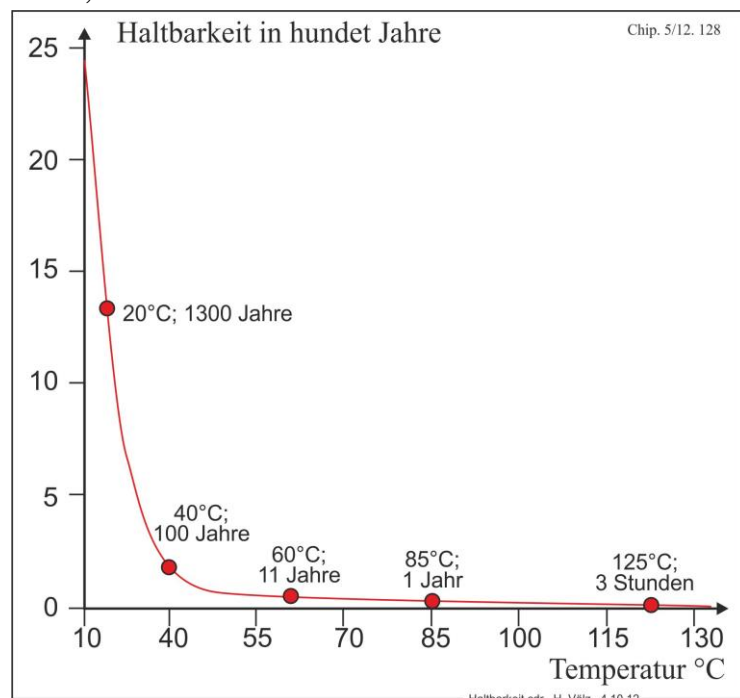
Darin bedeuten R die Gaskonstante und E_A die Aktivierungsenergie bei der Alterungstemperatur. E_A ist überwiegend eine Materialkonstante oder betrifft die Paarung der miteinander reagierenden Stoffe. Durch viele Erfahrungen hat sich inzwischen ergeben, dass die Lebensdauer meist auf die Hälfte verkürzt wird, wenn die Temperatur um jeweils 8° erhöht wird. Diese **8° -Regel** gilt nur näherungsweise, genügt aber dennoch für viele Anwendungen.

Den Gegensatz zur beschleunigten Alterung kennen alle vom **Kühlschrank**: Je tiefer im jeweiligen Fach die Temperatur ist, desto länger sind die Lebensmittel nutzbar. Ein Beispiel hierzu zeigt das nebenstehende Bild.

Aufbewahrung zu Hause

★★★ - Fach oder Tiefkühltruhe (bei minus 18°C) mindestens haltbar bis Ende:	siehe Prägung auf der Schmalseite
★★ - Fach	2 Woche
★ - Fach	1-3 Tage

Dieses Prinzip kann auch für einen **zuverlässigen Datenerhalt** bei elektronischen Bauelementen benutzt werden. Aus marktpolitischen Gründen wird das jedoch kaum mitgeteilt, denn seit etwa 1995 ist prinzipiell zu viel Speicherkapazität verfügbar [Völ07], S. 12. Daher sind auch nur sehr wenige Ergebnisse publiziert. Aus Elektronik 23, 2000, S. 138 stammt die linksstehende Tabelle für den Datenerhalt bei



dem Motorola Mikrocontroller MPC 555. Ein weiteres Beispiel für USB-

Sticks und SD-Karten stammt aus Chip (Bild 15), Heft 5/2012, S. 128. Durch eine Lagerung im Kühlschrank können ihre Daten extrem lange erhalten bleiben. Die Ursache ist dabei, dass bei elektronischen Bauelementen – insbesondere FET – eine sehr dünne isolierende Oxidschicht für ihre Funktion existiert. Durch sie können die Elektronen (als gespeicherte Ladungen) nur mit einer Diffusionsrate D gemäß der Arrhenius-Gleichung die Speicherschicht verlassen:

Temperatur in $^\circ\text{C}$	Jahre
20	54 430
40	7 243
55	1 768
60	1 137
80	220
100	51
120	14
125	10

Bild 15. Einfluss der System-Temperatur auf den Datenbestand von SD-Karten usw.

$$D = A(T) \cdot e^{\frac{-E_a}{k \cdot T}}.$$

Darin bedeuten: A = Materialfaktor, E_a = Aktivierungsenergie der Diffusion, k = Boltzmann-Konstante = $8,6 \cdot 10^5$ eV/K und T die absolute Temperatur. So folgt der Zeitfaktor zu

$$B = t_L(T_1) \cdot e^{\left(\frac{E_a}{k}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)}.$$

Auch beim **Sättigungsstrom** J_S der Glühemission tritt deutlicher Temperatureinfluss auf.

$$J_S = A \cdot T^2 \cdot e^{\frac{E_A}{k \cdot T}}.$$

Das **QuBit** der Quantenelektronik kann sogar nur sehr kurzfristig mit extrem tiefen Temperaturen von mK und μ K aufrechterhalten werden.

Die Beispiele legen nahe, dass zwischen der absoluten Zeit t_{abs} und der systeminternen Zeit $t_{int.}$ allgemein ein *exponentieller Zusammenhang* besteht

$$t_{int} = t_{abs} \cdot K \cdot e^{T_0/T_{int}}.$$

Darin sind T_0 die Bezugstemperatur, z. B. Zimmertemperatur und K eine Konstante des jeweiligen isolierten Systems. Damit ergibt sich eine gewisse Analogie bezüglich der Einheiten für Masse m und Gewicht G eines Festkörpers.

Schließlich sei noch auf die **Alterung infolge der Gammastrahlung** hingewiesen. Mit der Wilski-Gleichung wird die Lebensdauer t_e bei der Einsatzdosisleistung DL_E berechnet:

$$t_e = t_Q \cdot \left(\frac{DL_E}{DL_Q} \right)^{psi-1}.$$

Darin bedeuten t_Q die Zeit für die Prüfdosisleistung DL_Q und psi den Dosierungseffektexponenten (der Alterungsreaktion). Er ist eine Materialkonstante bzw. eine Konstante für die Paarung der miteinander reagierenden Stoffe. Ohne Kenntnis der Ursachen gilt auch für die Radioaktivität ein ähnlicher Zusammenhang. Bei der Zerfallskonstante λ zerfallen je Zeiteinheit von n Atomen

$$dn = -\lambda \cdot n \cdot dt.$$

Während der mittleren Lebensdauer eines Atoms $\tau = 1/\lambda$ hat daher die Anzahl der Atome auf $1/e \approx 36,9$ % abgenommen. Bei der Halbwertszeit existiert nur noch die Hälfte der Atome

$$t_H = \ln(2)/\lambda = \ln(2) \cdot \tau \approx 0,693 \cdot \tau.$$

Die Halbwertszeiten reichen von $7 \cdot 10^{-9}$ s (^{216}Ra) bis zu $1,5 \cdot 10^{24}$ Jahre (^{128}Te). Weitere Beispiele s. Tabelle. Auch *Elementarteilchen* sind nicht stabil. Für ein freies (isoliertes) Neutron beträgt $t_H \approx 10,7$ Minuten, für ein Proton $\approx 10^{32}$ Jahre. Stabile Atome zeigen keine beobachtbare Radioaktivität.

Auch auf die **Relativitätstheorie** sei verwiesen: Die Geschwindigkeit v des Systems im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit c bewirkt eine Zeitänderung (Zeitdilatation) von

$$\Delta t^* = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}.$$

1972 wurde auch der Einfluss der **Erdrotation** mit einem Düsenjet bestimmt: Flog er nach Osten, so gingen 59 ns verloren, nach Westen wurden 273 ns gewonnen. Geringe Einflüsse

$^{241}_{94}\text{Pu}$	β	13 a
$^{241}_{95}\text{Am}$	α	460 a
$^{237}_{93}\text{Np}$	α	$2,2 \cdot 10^6$ a
$^{233}_{91}\text{Pa}$	β	27,4 d
$^{233}_{92}\text{U}$	α	$1,62 \cdot 10^5$ a
$^{229}_{90}\text{Th}$	α	$7,3 \cdot 10^3$ a
$^{225}_{88}\text{Ra}$	β	14,8 a
$^{225}_{89}\text{Ac}$	α	10 d
$^{221}_{87}\text{Fr}$	α	4,8 Min
$^{217}_{85}\text{At}$	α	21 ms
$^{213}_{83}\text{Bi}$	β	47 Min
oder	α	47 Min
$^{213}_{84}\text{Po}$	α	4,2 ms
$^{209}_{81}\text{Tl}$	β	2,2 Min
$^{209}_{82}\text{Pb}$	β	3,3 h
$^{209}_{83}\text{Bi}$	stabil	∞

entstehen auch durch ein *Gravitationsfeld* (Raum-Zeit-Krümmung). In Nähe großer Massen läuft jede Uhr etwas langsamer. Aber am Rande eines *Schwarzen Lochs* steht die Zeit sogar still.

Urknallprobleme und Gedanke zu einer neuen Variante

Infolge der extrem hohen Temperatur zu Beginn des Urknalls mit 10^{30} K und lange Zeit über 10^{30} K müssten sich die zuvor genannten Effekte irgendwie auch im Zeitverlauf (Zeitachse) auswirken. Wahrscheinlich müsste zumindest alles zu Beginn viel langsamer ablaufen. Das könnte sich in Richtung zu den „üblichen“ exponentiellen Skalen gemäß Bild 9 und 10 auswirken oder sogar in Richtung der ersten Annahme von Einstein mit dem stationären Kosmos. Es ist ohnehin schwer bestimmbar, welche Bewegungen von was (oder anderes) die hohen Temperaturen erzeugen könnte. Insgesamt sind so viele Fragen zum Urknallmodell recht unklar.

Um das Problem des Beginns zu vermeiden, sei angenommen, dass zunächst eine unveränderliche Welt aus *irgendetwas Konstantem*, also Unveränderlichem oder im Gleichgewicht Befindlichen, (überall) besteht. Das könnte ähnlich der Materie (Stoff), z. B. eine besondere Art Elementarteilchen sein. Durch einen internen oder externen Zufall tritt dann irgendwo, irgendwann und irgendwie eine *energetische* Wechselwirkung auf. Sie erzeugt Neues, was sich dann vervielfacht und immer weiter im Sinne einer Evolution wirkt. Das führt dann zum in etwa exponentiellen Anstieg wie in den obigen Beispielen. Dafür existieren zwar z. Z. noch keine konkreten physikalischen Vorlagen. Sie sind aber grundsätzlich denkbar. Natürlich wären dann aber auch einige andere heutzutage gültige Annahmen nicht mehr berechtigt. Natürlich wären dadurch viele der heutigen kosmischen Aussagen anders zu interpretieren.

Literatur

- [Dar86] Darwin Ch.: Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl. Übersetzt von Carl W. Neumann. Nachwort von Gerhard Heberer. Reclam, Ditzingen 1986
- [Nod94] Modis, Th.: Die Berechenbarkeit der Zukunft. Birkhäuser Verlag. Basel – Boston – Berlin 1994
- [Omm58] Omm, P.: Meßkunst ordnet die Welt - Eine Geschichte des Messens und der Meßgeräte. Impuls - Verlag, Buchschlag bei Frankfurt/M, 1958
- [Völ01] Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Allgemeine Grundlagen für Naturwissenschaft, Technik und Medizin. Shaker Verlag, Aachen 2001
- [Völ03] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 1 Grundlagen und Anwendung in Natur, Leben und Gesellschaft. Shaker Verlag, Aachen 2003
- [Völ05] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 2 Technik und Geschichte vorelektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2005
- [Völ07] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 3 Geschichte und Zukunft elektronischer Medien. Shaker Verlag, Aachen 2007
- [Völ14] Völz, H.: Maßstäbe für die Zeit. Shaker Verlag, Aachen 2014
- [Völ15] Völz, H.: Zur Relativität der Zeit. GrKG. **56** (2015) H. 2. S. 55 – 64
- [Völ16] Völz, H.: Das ist Zeit. Shaker Verlag, Aachen 2016
- [Völ17] Völz, H.: Das ist Information. Shaker Verlag, Aachen 2017
- [Völ18] Völz, H.: Weltbeschreibung. Shaker Verlag, Aachen 2018
- [Völ18a] Völz, H.: Wie wir wissend wurden. Shaker-Verlag, Aachen 2018
- [Völ19a] Völz, H.: Das ist Zeit. Shaker Verlag Aachen, 2019
- [Völ19b] Völz, H.: Speicher als Grundlage für Alles, Shaker-Verlag Düren 2019
- [Völ20] Völz, H.: Von Information bis Kreativität. Shaker-Verlag, Düren 2020
- [Völ20a] Völz, H.: Information und Medienwissenschaft. Shaker-Verlag, Düren 2020
- [Völ21] Völz, H.: Ichrealität – Mein Weltbild. Shaker-Verlag, Düren 2021
- [Völ22] Völz, H.: Probleme der Wissenschaften - Ein Versuch. Shaker-Verlag, Düren 2022
- [Völ23] Völz, H.: Vom Denken zu Information, Medien und Zufall, Shaker-Verlag, Düren 2023
- [Völ96] Völz, H., Ackermann, P.: Die Welt in Zahlen und Skalen, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg - Berlin - Oxford 1996
- [Völ99] Völz, H.: Das Mensch - Technik - System. Expert - Verlag, Renningen - Malsheim
- [Wik23] In Wikipedia „Urknall“ download 20.3.23