

Versuch einer Beschreibung und Definition von Zeit und Raum

Raum und Zeit sind zwei typisch *deutsche* Wörter, die beide bereits im 8. Jh. nachweisbar sind. Raum tritt zunächst als Adjektiv auf: rum(e) geräumig, dann im 11. Jh. auch als Substantiv: rum, run, room Raum, Platz zu freier Bewegung oder zum Aufenthalt. Zeit ist dagegen bereits im 8. Jh. als Substantiv nachweisbar: zit Zeit, Zeit-, Lebensalter, Leben, Jahres-, Tageszeit, Stunde und auch als tide Gezeit(en), Ebbe und Flut. Sprachlich bezeichnen Substantive überwiegend vorhandene, gedachte oder abstrakte Objekte. Doch ein Objekt Zeit in diesem Sinne kann es kaum geben. Der Zeit sind wir ausgeliefert. Sie läuft ab, ohne dass wir sie selbst mit modernsten technischen Mitteln beeinflussen können. Während ein Fluss fließt, ein Wind weht usw. gibt es zu Zeit (zumindest im Deutschen) kein passendes Verb, sie „zeitet“ nicht. Im Englischen gibt es dagegen to time zeitmachen, zeiten.

1 Historisches

Eine Erklärung oder gar Definition der Zeit bereitet seit jeher erhebliche Schwierigkeiten. Typisch ist die oft zitierte Aussage des Kirchenvaters AUGUSTINUS (354 - 430) aus seinem 11. Buch »Confessioness« (lateinisch: *confessor* Bekenner):

„Was also ist Zeit? 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.“

Auch die Gerichtetheit der Zeit (Zeitpfeil) ist problematisch. ALBERT EINSTEIN (1879 - 1955) hielt entsprechende Bemühungen sogar für sinnlos:

„Der Unterschied zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft ist für uns Wissenschaftler eine Illusion, wenn auch eine hartnäckige“.

Bei HERAKLIT (~540 – ~480 v.Chr.) war Zeit gezählte Bewegung. Weniger deutlich werden ähnliche Fakten für den Raum, meist in Zusammenhang mit der Zeit, ausgesprochen. Schon für DEMOKRIT AUS ABDERA (Thrakien; ~460 – ~370 v.Chr.) existieren Raum und Zeit objektiv-real. Der Raum ist unendlich und für die freie Bewegung der Atome leer. Aber ZENON VON ELEA (Syrakus; 490 – 430 v.Chr.) versuchte durch Paradoxien Bewegung als unmöglich zu beweisen. Für PLATON (~428 – ~347 v.Chr.) waren Raum und Zeit nicht so wesentlich, denn das Reich der *Ideen* ist für ihn zeit- und raumlos. Nach ihm hat unsere Seele die ewigen Wahrheiten (Ideen) bereits vor der Geburt geschaut. Bei ARISTOTELES (384 – 322 v.Chr.) war die Zeit wieder wie bei HERAKLIT gezählte Bewegung. Der Raum war bei ihm ein Gefäß für die materiellen Körper, deren Anordnung ihn erst ausmacht. GALILEO GALILEI (1564 – 1642) und ISAAC NEWTON (1642 – 1727) halten Raum und Zeit für absolut, d.h. leer und nicht an Materie gebunden. RENÉ DESCARTES (Cartesius; 1596 – 1650) und CHRISTIAAN HUYGENS (1629 - 1695) lehnen den absoluten Raum und die absolute Zeit ab, beide sind vielmehr an Materie gebunden. Auch GOTTFRIED WILHELM, FREIHERR VON LEIBNIZ (1646 – 1716) betrachtet Raum und Zeit im Verhältnis zur Materie. Für IMMANUEL KANT (Cant; 1724 – 1804) sind Raum und Zeit im Sinne der Anthropologie dem Menschen angeborene Formen der sinnlichen Anschauung (griechisch *anthropos* Mensch und *logos* Vernunft, Denkvermögen). ALBERT EINSTEIN (1879 – 1955) fasst sie schließlich in seiner speziellen Relativitätstheorie in der Raum-Zeit-Union zusammen. In der allgemeinen Relativitätstheorie werden sie dann wesentlich durch die Masse bestimmt. Einige Kritiker gehen heute sogar so weit, dass sie meinen, Zeit sei ausschließlich eine Konstruktion des menschlichen Lebens. Für den Raum gibt es weitaus weniger kritische Aussagen. Für ihn wird meist stillschweigend irgendeine Geometrie vorausgesetzt.

Ab etwa 1900 wurde in der Physik der Begriff »Raumzeit« gebräuchlich. Diese Zusammenfassung benutzte erstmalig HERMANN MINKOWSKI (1864 – 1909) in einem Vortrag

am 21.9.1908. Wesentlich vertieft hat ihn dann ALBERT EINSTEIN mit seiner speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie. So verloren Raum und Zeit ganz wesentlich ihre Selbständigkeit. Eine andersartige, nämlich anthropische Vertiefung entwickelte um 1955 der Kosmologe GERALD WHITROW. Damit Leben in einer Welt existieren kann, genügen nicht zwei Raumdimensionen. Unvermeidliche Überschneidungen der Verbindungen zwischen Nervenzellen würden quasi zu Kurzschlüssen führen und damit die Herausbildung eines komplexen neuralen Netzwerks verhindern. Systematisch betrachtete die Zusammenhänge JOHN D. BARROW in [1]. Er führte hierzu eine Systematik gemäß **Bild 1**. Die vielen Möglichkeiten werden dann auf S. 209 gemäß dem folgenden Text eingeschränkt,

„indem man einige wenige vernünftige Forderungen stellt, die für die Informationsverarbeitung und ein funktionierendes Gedächtnis – also für die Existenz von >Leben< – erfüllt sein müssen. Wenn wir wollen, dass die Zukunft durch die Vergangenheit bestimmt wird, müssen wir alle Felder auf dem Schachbrett entfernen, in denen >unvorhersagbar< steht. Wenn wir wollen, dass stabile Atome und Planetenbahnen existieren, fallen alle Felder mit >instabil< weg. Scheiden wir dann noch Welten aus, in denen es nur Signale gibt, die sich schneller als das Licht ausbreiten, bleibt allein unsere Welt mit ihren 3+1 Raum- und Zeitdimensionen übrig. Darüber hinaus blieben noch einige allzu einfache Welten mit 2+1, 1+1 und 1+2 Dimensionen, von denen man annimmt, dass in ihnen kein Leben existieren kann. So gibt es beispielsweise in 2+1-Welten keine Schwerkraft, und es sind nur äußerst einfache Strukturen möglich, die jede Herausbildung von Komplexität ausschließen.“

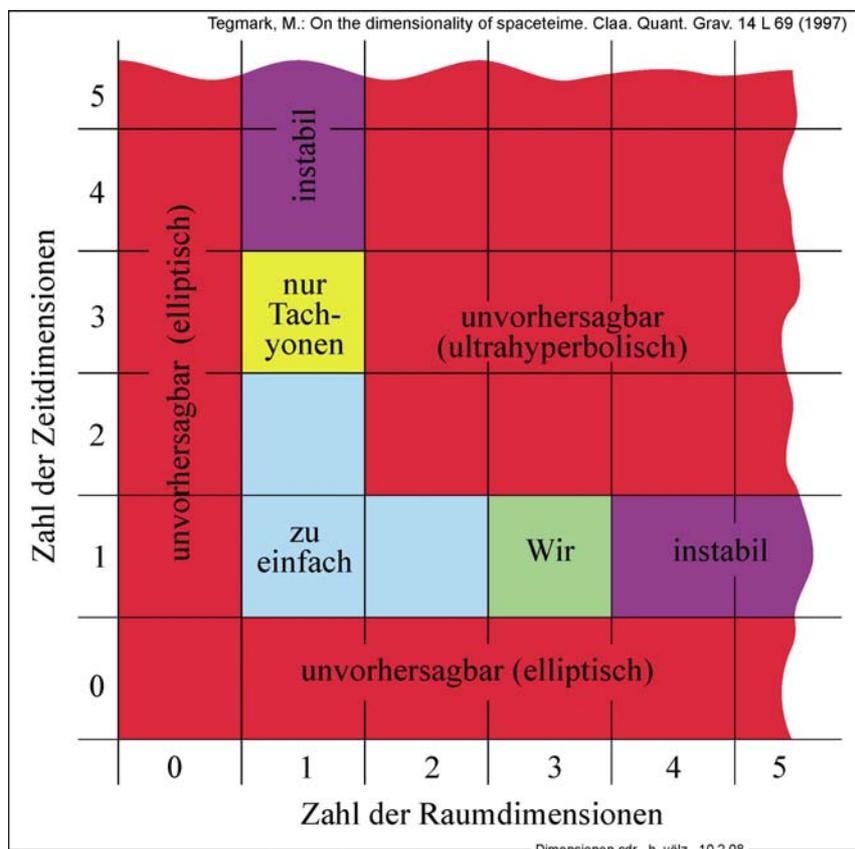


Bild 1. Schema für die Auswahl der möglichen Raum- und Zeit-Dimensionen [1], [2].¹

¹ Tachyonen (griechisch *tachys* schnell) sind hypothetische, überlichtschnelle Teilchen, welche nach der speziellen Relativitätstheorie möglich sein könnten. Sie erlangte vorzugsweise durch die Star-Trek-Filme allgemeine Beachtung.

In den 80er Jahren entstand die Superstring-Theorie. Sie wurde auf rein theoretischer Basis vor allem von MICHAEL GREEN, JOHN SCHWARZ und EDWARD WITTEN entwickelt. Für Bosonen sind danach 26 und für Fermionen 10 Dimensionen notwendig. Auch andere Zahlenwerte sind inzwischen gebräuchlich. Die zusätzlichen Raum-Dimensionen sollen aufgerollt bei kleinsten Abmessungen auftreten. Daher sind sie bei den üblichen makroskopischen Abmessungen nicht feststellbar. Allerdings gibt es bisher nicht einmal Vorstellungen zu einer experimentellen Überprüfung dieser Ideen. In hier interessanten Kontext kann daher auf entsprechende Betrachtungen verzichtet werden.

2. Voraussetzungen für das Erkennen

Da die Zeit und z.T. auch der Raum offensichtlich nicht für sich allein zu definieren sind, sei hier eine mittelbare Einführung über mehrere Thesen versucht. In erster Näherung entsprechen sie Axiomen, die für weitere Betrachtungen vorausgesetzt werden. Leider sind ihre Festlegungen nicht, wie es bei Axiomen üblich ist, völlig unabhängig. Sie setzen sich zum Teil gegenseitig voraus, wodurch die Gefahr einer (unzulässig) zyklischen Erklärung entsteht. Dennoch wird versucht eine schrittweise genauer werdende Bestimmung von Raum und Zeit zu erreichen. Für einige benutzte Begriffe wird dabei ein intuitives Verständnis vorausgesetzt. Zunächst sei das Problem des Erkennens von Objekten als entscheidende Voraussetzung für das Feststellen von Raum und Zeit definiert.

- **Objekte mit ständigen Eigenschaften:** In der Welt gibt es u.a. Objekte, die durch unveränderliche Ausprägungen ihrer Eigenschaften gekennzeichnet sind. Beispiele sind Elementarteilchen, Atome, Moleküle, Strukturen, Geräte, Tiere, Planeten und Sterne. In der Physik wird oft angenommen, dass Elementarteilchen usw. nicht real existieren müssen, sondern vielmehr nur ein Bestandteil der jeweils gültigen Theorie sind. Besonders wichtig ist der Begriff Ständigkeit. Der Begriff setzt voraus, dass die jeweiligen Eigenschaften der Objekte »immer und überall« die gleiche Ausprägung besitzen. Ohne ihn ist keine Wissenschaft möglich ist.
- **Subjekte mit der Fähigkeit zur Wahrnehmung und Speicherung.** Subjekte sind vor allem Lebewesen. Ein besonders wichtiger Spezialfall ist der Mensch. Hier sollen zu den Subjekten auch technische Einrichtungen, insbesondere Messgeräte zählen, die über die Fähigkeiten zum Erkennen (Messen) und Speichern verfügen. Mit der Einführung derartig allgemeiner Subjekte wird versucht, eine rein anthropologische (auf den Menschen bezogene) Betrachtung weitgehend zu vermeiden. Die Subjekte sollen fähig sein, ausgewählte Eigenschaften von Objekten der Welt festzustellen, zu erkennen. Beides, Wahrnehmen und Speichern, ist deshalb notwendig, weil Erkennen immer nur durch ein Wiedererkennen von bereits Gespeichertem über einen Vergleich erfolgt. Woher und wann das Gespeicherte kam, ist dabei unwesentlich.

Bemerkungen

Eine typische Frage der Philosophie lautet: *Existieren überhaupt Objekte*, wenn es kein Subjekt gibt, das sie feststellt? Ein typischer Materialist behauptet: Sie existieren auch dann. Das Subjekt muss dabei nicht lebend sein. Es kann durchaus eine technische oder ähnliche Einrichtung sein. Doch ohne Subjekt gibt es niemand oder nichts, die über die Existenz und Eigenschaften der Objekte Aussagen machen können. Genau deswegen wurde oben das Objekt vor dem Subjekt eingeführt.

Objekte bestehen aus Materie; Materie erzeugt Objekte. Damit wir sie unmittelbar wahrnehmen können, müssen sie so gestaltet sein, dass sie den Möglichkeiten unserer Sinne entsprechen. So gesehen sind Materie und Objekte zumindest eng zusammenhängend. Ein *Objekt* besitzt meist

viele Eigenschaften, doch von ihnen sind oft nur einzeln ausgewählte für das Subjekt entscheidend.

Recht schwierig sind die Definition der notwendigen *Speicherung* und des *Vergleichs* mit dem zu erkennenden Objekt. Hier sei intuitiv angenommen, dass entsprechenden Daten der Ausprägung irgendwie dauerhaft in einer Struktur abgelegt sind und für den aktuellen Vergleich abgerufen werden können. Ausprägungen für neue Objekte zu speichern, bedeutet den „zeitlich“ aktuellen Zustand in eine Struktur zu übertragen.

Bei der Beobachtung, beim Erkennen sind entsprechend **Bild 2** meist *mehrere Stufen* zu unterscheiden. Die Ameise wird die Orange nur als endlose Fläche „wahrnehmen“. Eine *übergeordnete* Beobachterin „sieht“ jedoch das räumliche Geschehen.

Für die Thesen 1 und 2 ist zunächst keine *Raum- und/oder Zeit-Konstruktion* erforderlich. Daher wird bewusst offen gelassen was »immer und überall« beinhaltet. Für die (erste) Speicherung und für das Wiedererkennen ist prinzipiell weder ein konkreter Raum noch eine irgendwie definierte Zeit erforderlich.

Ständigkeit ist irgendwie immer etwas relativ. Im engeren Sinne wird unter Ständigkeit verstanden, dass es „identische“ und weitgehend unveränderliche Objekte gibt. Das sind z.B. Quarks und Elementarteilchen. Daher gibt es immer eine Vielzahl *nicht* unterscheidbarer Objekte, z.B. Elektronen. Z.T. können sie mehrere unterschiedliche Zustände annehmen.

Naturgesetze erfassen u.a. die Beziehungen zwischen den Objekten. Auch sie sollen »immer und überall« gültig sein (erweiterte Ständigkeit) und setzen bei ihrer Formulierung vielfach Definitionen von Raum und Zeit voraus.

Energien und *Felder* gehören ebenfalls teilweise zur Ständigkeit. In der klassischen Physik wird das z.B. mit dem Dualismus von Welle und Partikel erfasst.

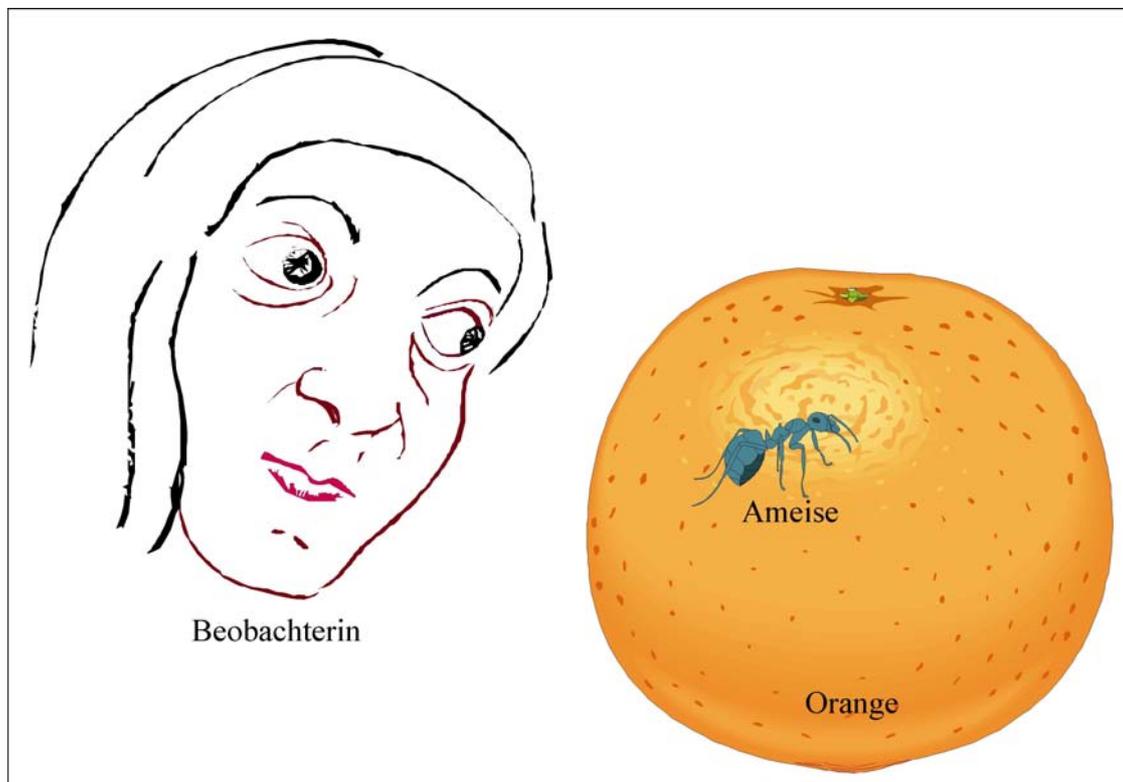


Bild 2. Bezugspunkte des Wahrnehmens. Die Ameise nimmt die Orange als unendlich ausgedehnte zweidimensionale Fläche wahr. Sie soll die Orange nicht verlassen können. Die Beobachterin sieht das Ganze jedoch als zeitliches Geschehen im dreidimensionalen Raun.

3 Konstruktionen von Raum und Zeit

1. **Erkennen von Objekte** (*erste Raum-Konstruktion*). Nach den ersten beiden Thesen bereitet das Erkennen eines einzelnen Objekts auch ohne Einbeziehung von Raum und/oder Zeit kein Problem. Es ist dabei lediglich zu entscheiden, ob überhaupt ein oder welches Objekt vorliegt bzw. ob die Ausprägung der gewählten Eigenschaften im Toleranzbereich eines Objektes liegt. Doch sollen mehrere Objekte erkannt werden, dann müssen zwischen ihnen *Beziehungen, Relationen* bestehen. Einige dieser Relationen erzwingen – wenn auch sehr unbestimmt – etwas Ähnliches wie einen Raum. Seine typischen Eigenschaften werden dabei entscheidend durch die erkennenden und speichernden Fähigkeiten des Subjekts bestimmt. Zur Erklärung sei von zwei technischen Geräten (Subjekten) ausgegangen, die nur die Ausprägung der Lichthelligkeit erfassen, erkennen können. Eine CCD-Zeile kann nur Helligkeiten von Objekten bezüglich seiner linear angeordneten Pixel feststellen. Eine CCD-Matrix ermöglicht es flächenhaft entsprechend der Anordnung seiner Pixel. Was hierbei linear oder flächenhaft bedeutet, ist eigentlich nur aus unserer übergeordneten dreidimensionalen Sicht erklärbar (vgl. Bild 1).
2. **Einzel nacheinander erscheinende Objekte** (*erste Zeit-Konstruktion*). Ein Fotoempfänger, der nur ein einziges Pixel besitzt, kann bei vorhandener Speicherung unterschiedliche Objekte nur *nacheinander* erkennen. Ohne einen übergeordneten Beobachter ist dabei nicht entscheidbar, ob sich die Objekte oder der Empfänger bewegen bzw. sich die Objekte ändern. So bewirkt die vorhandene Relativbewegung etwas Zeitähnliches mit »es war, es ist« bzw. »vorher und nachher«. Ein »es wird sein« ist so noch nicht möglich.
3. **Bedeutung der Periodizität** (*Zeitrichtung, Zeitpfeil*). Bei hinreichender Speicherkapazität ist im Nachhinein eine mehrfache Anordnung von vorher und nachher feststellbar. Das ermöglicht so etwas wie eine Zeitrichtung wahrzunehmen. Treten jedoch einzelne Objekte wiederholt auf, so ist die eindeutige Richtung in Frage gestellt. Die Zeit könnte durchaus wechselnd vor und zurück laufen. Treten Objekte immer wieder nach gleich vielen anderen Objekten auf, so könnte auch eine periodische Zeit vorliegen. Dann ist teilweise ein »es wird sein« möglich. Aus übergeordneter Sicht ist aber noch kein Zeitmaßstab definiert. Denn der Wechsel zwischen den Objekten könnte ja unterschiedlich lange dauern. Das Speichern erlaubt nur die Zählung der Veränderungen. Auch über die Ursache der Objektwechsel ist keine Aussage möglich bzw. erforderlich.
4. **Mehrere Objekte nacheinander** (*zweite Raum-Konstruktion*). Wird die CCD-Zeile oder -Matrix in eine andere Umgebung gebracht – wie das auch immer erfolgen mag – so erkennt sie veränderten Objekt-Anordnungen, die einem anderen Raum entsprechen (»Parallel-Welt«). Ob dabei auch etwas bezüglich der Zeit ergänzt wird, ist recht unwahrscheinlich. Hätten wir nur die Erkennungs-Fähigkeit eines der beiden Bauelemente und würden dann unbemerkt von einem übergeordneten »Wesen« an verschiedene Orte gebracht, so könnten auch wir nur eine unbestimmte »Raum-Welt« konstruieren. Einen ähnlichen Zusammenhang bezüglich der Grenzen unserer Wahrnehmung hat bereits PLATON mit seinem Höhlengleichnis deutlich herausgestellt (vgl. auch Bild 2).
5. **Mehrere Objekten mit sich verändernden Beziehungen** (*Raum-Zeit-Konstruktion*). Es sei wieder eine CCD-Matrix angenommen. Ähnlich der 4. These erkennt sie, dass nacheinander bezüglich ihrer Pixel Objekte auftauchen und verschwinden. Dabei »wandern« einzelne Objekte (fortlaufend) zu benachbarten Pixel. Die Objekte bewegen sich in der »flächigen« Welt der Matrix. Dabei sind eventuell Änderungen der *Beziehungen* (z.B. der Abstand) zwischen den Objekten feststellbar. Das Sichbewegen der Objekte und die Änderung der Beziehungen zwischen ihnen ermöglicht eine Konstruktion, die so etwas wie Raum und Zeit beinhaltet.

6. **Änderungen beim Erkennen** (u.a. *Bewegung*). Gemäß unserer unmittelbaren Erfahrung glauben wir, dass es Objekte gibt, die sich bewegen, verändern, entstehen oder vergehen. Mit den oben eingeführten technischen Einrichtungen ist jedoch schwierig zu entscheiden, welche der Möglichkeiten vorliegt. Es möge z.B. bei einer CCD-Matrix in der unmittelbaren Umgebung eines Pixels die Anzahl der mit gleicher Ausprägung beleuchteten Pixel zunehmen. Aus unserer übergeordneten Sicht könnte dies drei Ursachen haben:
- Die Anzahl der Objekte nimmt zu (*Vermehrung*).
 - Das Objekt wird größer, *es wächst*.
 - Es ist ein größeres Objekt, das sich nähert (*Bewegung*).
- Zur Entscheidung zwischen den Varianten ist ergänzend zur CCD-Matrix ein zweiter Sensor notwendig, der zusätzliche, vorwiegend andere Eigenschaften von Objekten erfasst. Bleibt für ihn alles unverändert, so liegt dasselbe Objekt vor. Ob es aber näher kommt oder wächst, bedarf einer weiteren Analyse (dritter Sensor), z.B. bezüglich der Bewegung (Abstand). Nur wenn es näher kommt, liegt im engeren Sinn ein ständiges Objekt vor. Andernfalls sind die Betrachtungen von Abschnitt 2.3 bezüglich nichtständiger Objekte notwendig.
7. **Mehrere periodische Prozesse** (*Zeitmaßstab*). Mit mehreren Sensoren können sich für die Objekte unterschiedliche Periodizitäten in der *zählenden* Abfolge ergeben. Der schnellste Wechsel kann dann als Maßstab für die anderen Wechsel herangezogen werden. Ob dieser Wechsel jedoch aus einer übergeordneten Sicht immer wirklich zeitgleich getaktet erfolgt, ist aus den Abläufen selbst nicht entscheidbar. Hierzu bedarf es zusätzlicher Annahmen oder Erkenntnisse. Ein gewisser Hinweis ergibt sich dann, wenn z.B. fast alle Zyklen immer in einem festen Verhältnis auftreten.
8. **Veränderliche Objekte**. Aus unserer subjektiven Erfahrung wissen wir, dass es Objekte gibt, die sich zumindest teilweise im Laufe der Zeit verändern. Dies kann u.a. die Größe und die Gestalt (Aussehen, Form) betreffen. Für das *Wieder-Erkennen* dieser Objekte ist zweierlei notwendig: eine Zeitdefinition und das Zusammenfassen (Wiedererkennen) mehrerer Eigenschaftsausprägungen (durch mehrere Sinne). Neben den sich ändernden Ausprägungen muss aber zumindest eine Ausprägung unverändert erhalten bleiben. Sie bestimmt dann ganz wesentlich das sich verändernde Objekt.
9. **Entstehende (Werdende) und Vergehende von Objekten**. Unter der Voraussetzung zumindest einer das Objekt bestimmenden Ausprägung ist es auch möglich, das Entstehen und Vergehen von Objekten einzuführen. Damit ist für diese Ausprägung jedoch ein plötzlicher Sprung von Nichts auf diese Ausprägung bzw. umgekehrt erforderlich. Wie lange das »Plötzlich« dabei dauert T_{Anfang} bzw. T_{Ende} ist eine schwierig zu beantwortende Frage. Es muss zumindest kurz im Vergleich zu der Zeit, in der das Objekt besteht T_{Bestand} mit $T_{\text{Anfang}} \ll T_{\text{Bestand}}$ und $T_{\text{Ende}} \ll T_{\text{Bestand}}$.

Bemerkungen

Eine hinreichend allgemeine Definition von **Bewegung** ist schwierig, wenn zuvor nicht irgendwie *Raum und Zeit* definiert sind. Bei den oben eingeführten CCD-Zeilen und -Matrizen genügt es bereits, dass ein Objekt vorher bzw. nachher durch unterschiedliche, vor allem benachbarte Pixel festgestellt wird. Weiter ist zu beachten, dass Statik und Dynamik, und damit auch Bewegung und Zeit im gewissen Sinne zwei Seiten einer Medaille sind. Sie hängen ganz wesentlich Beobachtungszeit $T_{\text{Beobachtung}}$ im Vergleich zur Dauer T_{Dauer} der Stabilität einer Struktur ab. Gilt $T_{\text{Beobachtung}} \ll T_{\text{Dauer}}$ so wird die Struktur statisch (ruhend), bei $T_{\text{Beobachtung}} \gg T_{\text{Dauer}}$ dagegen dynamisch (bewegt) wahrgenommen. Unter anderem ist auch in diesem Sinne die Paradoxie der fliegenden Pfeils von ZENON VON ELEA (Syrakus; 490 – 430 v. Chr.) zu beachten. Er ist *entweder* in Ruhe *oder* in Bewegung. Wenn er an irgendeinem Ort ist, muss er dort in Ruhe verharren, sonst wäre er ja nicht dort. Folglich kann er sich nicht bewegen. Wenn er sich jedoch bewegt, so kann er an keinem festen Ort sein.

Bei den Thesen 1 bis 4 ist vereinfachend vorausgesetzt, dass die Größe der Objekte in etwa der Größe der Pixel entspricht. Kleinere Objekte bringen solange keine neuen Schwierigkeiten, wie die Messbarkeit erhalten bleibt. **Größere Objekte** belegen gleichzeitig mehrere Pixel und führen zu den Schwierigkeiten der These 8. Zur Entscheidung sind dann immer mehrere Sensoren (bei Lebewesen Sinne) notwendig, die vorwiegend verschiedene Eigenschaften erfassen. Lediglich im Fall der nachgewiesenen Bewegung lässt die Ständigkeit eines Objektes aufrechterhalten. Die Relativ-Bewegung (bezüglich eines Objekts) ermöglicht dann teilweise eine erweiterte Raum- und Zeitkonstruktion. Selbst bei der flächigen CCD-Matrix wird so im gewissen Umfang die Einführung einer dritten Dimension als Entfernung möglich. Da aber auch Wachsen und Schrumpfen oder Entstehen und Vergehen möglich sind, müssen auch nichtständige Objekte (s.u.) in die Betrachtung einbezogen werden.

Der **Raum** ist für uns unmittelbar nicht wahrnehmbar. Wir können ihn nur mittelbar, über in ihm angeordnete Objekte wahrnehmen. In Bezug auf solche Objekte können wir uns in ihm auch aktiv bewegen. In dieser Hinsicht hat er einen gewissen Objektcharakter, der aber erst durch die materiellen Objekte vermittelt wird.

Die **Zeit** ist deutlich anders der Raum. Wir sind ihr ausgeliefert. Sie läuft ab, ohne dass wir sie irgendwie beeinflussen können. Für ein Objekt *Zeit scheint* zu sprechen, dass Uhr-, Tageszeit usw. bestimmbar, ja messbar sind.

Wir erleben zwar die **Gerichtetheit der Zeit**, jedoch ist es schwierig hierüber genaue Aussagen zu treffen (s. Abschnitt 4).

Im Sinne von These 9 legte 1967 die XIII. Generalkonferenz für Maß und Gewicht den **Zeitmaßstab** auf die periodische Schwingung eines Cs-Atom fest. Die Genauigkeit dafür ergibt sich aus anderen, über Erfahrung ermittelten Zusammenhängen zu etwa $\pm 10^{-14}$.

„Die Basiseinheit 1 Sekunde (1 s) ist die Dauer von 9 192 631 770 Perioden der Strahlung, die dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes des Atoms Cäsium 133 entspricht.“

Für die **Längeneinheit** und **Raumgeometrie** gibt es leider keine so einfache, aus Naturgesetzen folgende Herleitung. Sie müssen komplizierter eingeführt werden. Das macht den Raum wieder schwieriger. Auf entsprechende Betrachtungen sei hier verzichtet.

Entgegen unserer einfachen Anschauung ist es erstaunlich, dass gerade die systematische Herleitung von sich **ändernden Objekten** so aufwändig ist. Denn subjektiv erleben wir viel mehr sich verändernde als ständige Objekte. Ständige Objekte sind offensichtlich vor allem im Mikrokosmos vorhanden. Aus ihnen zusammengesetzte Makroobjekte können dagegen trotz im gewissen Bereich sich ändernder Zusammensetzung als *im Wesentlichen* gleichbleibend angesehen werden. Das Wesentliche bedeutet dabei, dass für sich ändernde Objekte eine tolerante Klasseneinteilung erforderlich ist.

Besonders schwierig ist die **Gestalt-Änderung** von Objekten einzuordnen. Ein extremes Beispiel ist die Metamorphose, z.B. vom Ei über die Raupe zum Schmetterling. Hierbei sind weit übergreifende Eigenschaften zur Definition des Objektes (Lebewesens) erforderlich.

Ergänzend sei noch erwähnt, dass **Experimente** immer die Möglichkeit einer bewusst und absichtlich durchgeführten Wiederholung (Periodizität) in der Zeit und z.T. auch im Raum voraussetzen. Wenn die Zeit wirklich eindeutig gerichtet abläuft, sind sie zumindest in voller Exaktheit nicht möglich. Jedoch ermöglichen sie meist die jeweils wesentlichen Zusammenhänge zu untersuchen.

Bild 3 fasst die Thesen zusammen. Daraus wird deutlich, dass je nach den vorhandenen Gegebenheiten unterschiedliche Zeitdefinitionen folgen können. Aus dieser Sicht ist es offensichtlich einfacher Festlegungen für Räume zu treffen. Eine andere, ergänzende Systematik zeigt **Tabelle 1**.

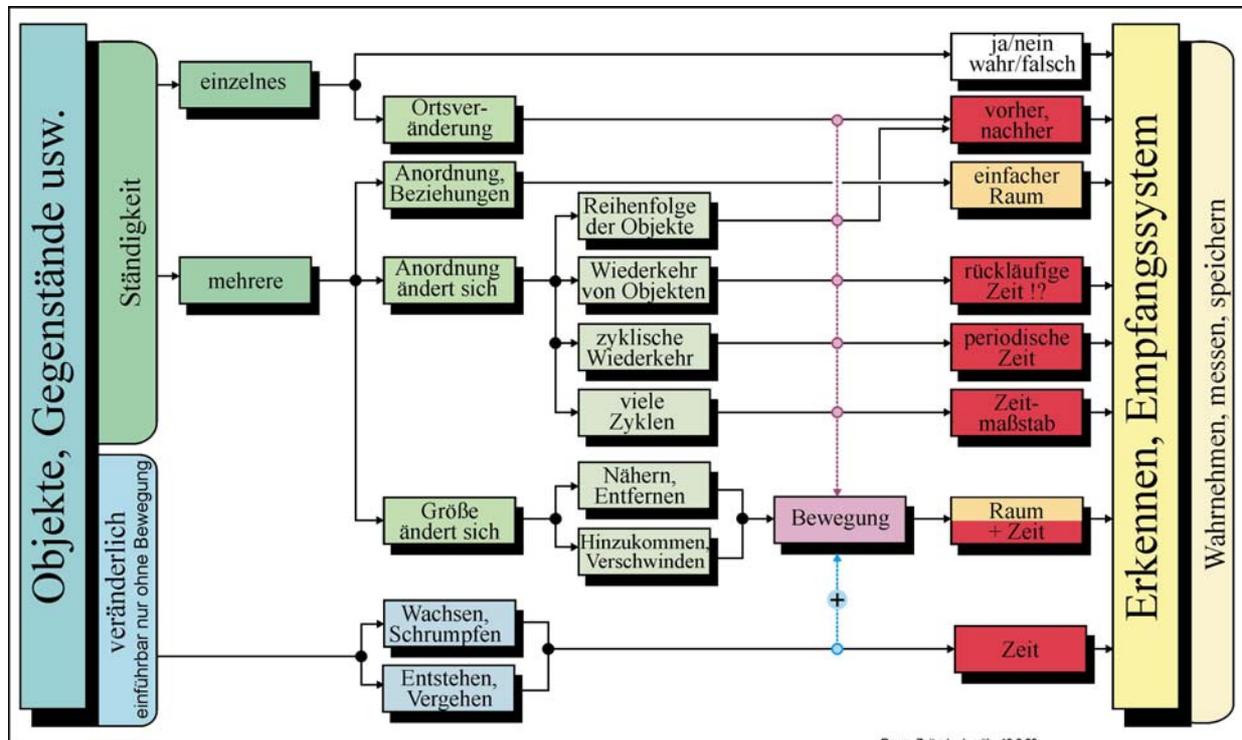


Bild 3. Zusammenhänge von Raum und Zeit für das Erkennen von Objekten

Tabelle 1. Systematik mit Beispielen von Objekte für Raum-Zeit-Konstruktionen.

Nichtständige Objekte betreffen vor allem das Werden und Vergehen und kommen dann auch an verschiedenen Orten vor.

		Ort, Raum		
		fest	periodisch	veränderlich
Zeit	fest	ständig + fixiert	feststehendes Gitter	feststehendes Bild
	periodisch	wiederkehrend	Rotation (Planet)	gedämpfte Schwingung
	veränderlich	Werden, Vergehen	beschleunigte Rotation	Naturgeschehen

4 Die Zeitrichtung

Die Gerichtetheit der Zeit ist aus physikalischen Gesetzen *nicht* herleitbar. Sie sind alle, auch die mikroskopischen, bei einer Zeitumkehr genauso gültig. Lediglich aus der Thermodynamik (dritter Hauptsatz) folgt statistisch gemittelt eine Zeitrichtung, nämlich zum Gleichgewicht hin. Hierzu schufen um 1907 TATIANA und PAUL EHRENFEST (1880 – 1933) ein Gedankenexperiment, das von vielen Physikern damals rechnerisch untersucht wurde. Es kann auch als Spiel behandelt werden:

- Es verlangt zwei Hunde, n nummerierte Flöhe und einen Zufallsgenerator mit n Zahlen².
- Wird die Zahl x gewürfelt, so hat der x -te Floh den Hund zu wechseln.

Grundsätzlich lassen sich dann zwei wesentlich unterschiedliche Ergebnisse feststellen:

² In der anschaulichen Version wurden die Urnen durch Hunde und die Steine durch Flöhe ersetzt. Daher rührt der Name „Hund-Flöhe-Modell“.

1. Gemittelt über eine hinreichend lange Zeit befindet sich auf jedem Hund ziemlich genau die Hälfte der Flöhe. Bei einer großen Versuchszahl ist die Abweichung sehr klein, bei der Loschmidtschen Zahl z.B. $\approx 10^{-20}$.
2. Zu ausgewählten, aber immer wiederkehrenden Zeitausschnitten treten beachtlich große zu- bzw. abnehmende Abweichungen von der Gleichverteilung auf.

Eine Simulation zeigt **Bild 4**. Links sind die ermittelten Zeitverläufe und rechts die dazugehörigen Verteilungskurven (Histogramme) dargestellt. Für 250 Würfe gilt die obere Kurve. Grün ist hier die Tendenz mit Entropie-Abnahme, d.h. Komplexitätszunahme hervorgehoben. Ihr folgt hier eine verstärkte Entropie-Zunahme (rot). Bei 2250 (Mitte) und bei 7000 Würfeln (unten) sind immer 250 Würfe lange Teilverläufe übereinander gelegt. In der Nähe des Gleichgewichts überlagern sich dadurch so viele Abläufe, dass Tendenzen einzelner Kurven verdeckt werden. Jedoch an den Rändern – insbesondere am oberen – sind dennoch hinreichend viele Zeitabschnitte zu erkennen, die deutlich von Gleichverteilung wegstreben (wieder grün). Ferner ist dabei zu beachten, dass die hier dargestellt relative Abweichung vom Mittelwert mit der Anzahl der Versuche ohnehin immer geringer wird. Dennoch führten die immer wieder auftretenden, zeitweiligen Ausreißer zu der Annahme, dass die Erde und damit die Menschheit in so etwas wie einer Raum-Zeit-Oase existieren. In ihr zeigt für eine gewisse Zeit und unter bestimmten Bedingungen der vorwiegend zum Gleichgewicht strebende Zeitpfeil auch zeitweilig in die entgegengesetzte Richtung, zu einer Höherentwicklung. Dies gilt damit erstaunlicherweise auch für abgeschlossene Systeme. Dagegen wird heute die Mehrzahl der Evolutionsabläufe durch offene Systeme mit Energiezufuhr von Außen erklärt.

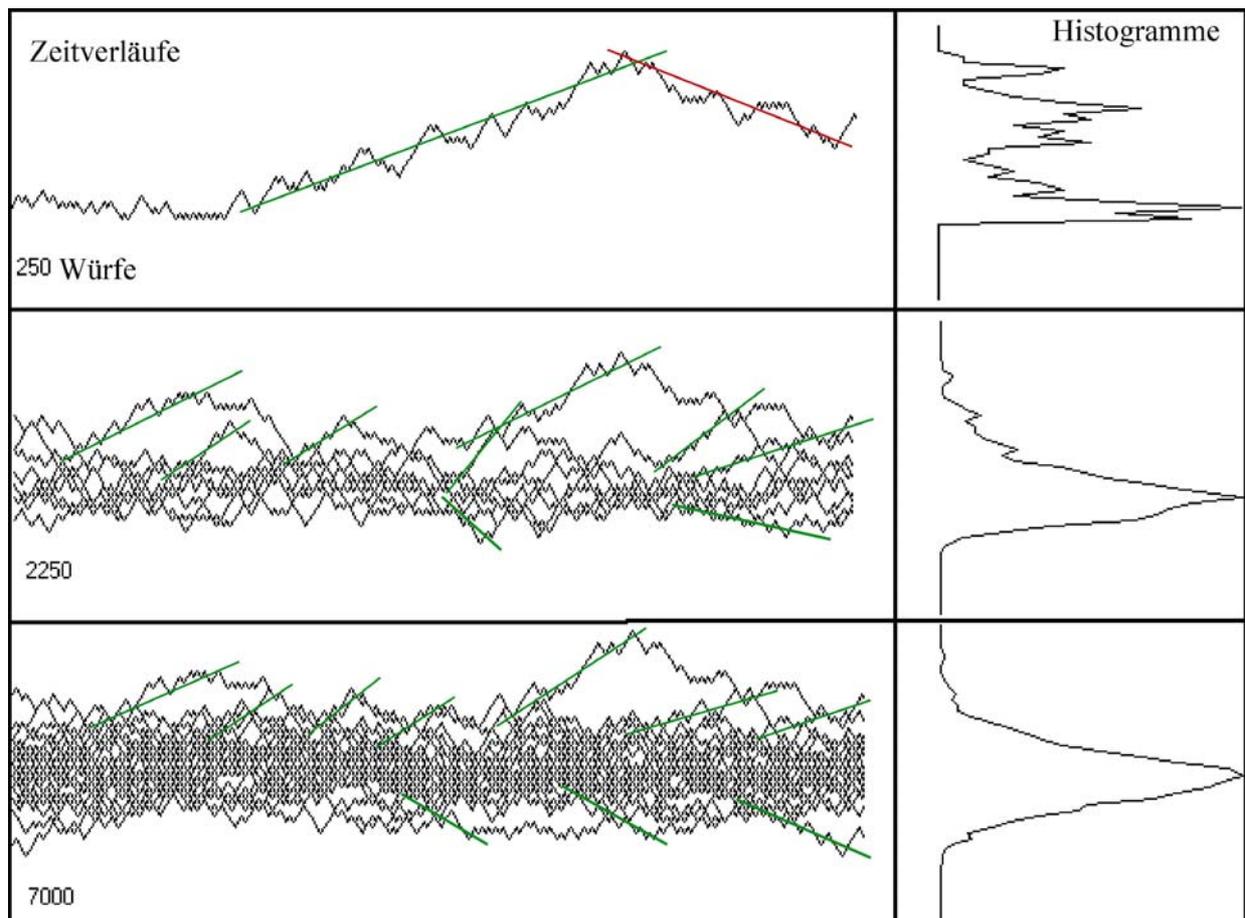


Bild 4. Simulation mit dem Hund-Flöhe-Modell. Die grünen Linien zeigen Zeitabschnitte auf, in denen eine Tendenz weg vom Gleichgewicht besteht. In ihnen ist Komplexitätszunahme und damit Evolution möglich.

Zum Zeitpfeil gibt es recht unterschiedliche Aussagen. MURRAY GELL-MANN (*1929) [3] geht z.B. davon aus, dass vor dem Urknall eine Zeitsingularität bestand. Mit dem Urknall entstand dann zufällig der Zeitpfeil. Er wurde dann vom Universum an die Galaxien, an die Sterne, an die Planeten usw. weitergegeben. Im Gegensatz hierzu hatte ALBERT EINSTEIN, um die Stabilität der Welt zu erhalten, seine Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie um ein „kosmologisches Glied“ erweitert. Erst ALEXANDER ALEXANDROWITSCH FRIEDMANN (1888 – 1925) konnte 1922 zeigen, dass es Lösungen der EINSTEIN’schen Gleichungen ohne kosmologisches gibt, die dann auf u.a. eine Expansion des Universums verweisen. Sie wurde 1929 durch EDWIN POWELL HUBBLE (1889 – 1953) als Fluchtbewegung der Galaxien im Sinne einer kosmischen Evolution experimentell belegt. Heute werden mindestens fünf verschiedene, jedoch nicht völlig voneinander zu trennende Zeitpfeile unterschieden:

1. Der *thermodynamische* Zeitpfeil, bei dem die Entropie (Unordnung) zunimmt.
2. Der *kosmologische* Zeitpfeil, mit dem sich das Universum ausdehnt.
3. Das *Werden* in der Natur, wodurch neue Strukturen und Organismen entstehen.
4. Der *psychologische* Zeitpfeil, der sich auch unserem unmittelbaren Erleben ergibt. Durch ihn können wir uns an die Vergangenheit, aber nicht an die Zukunft erinnern. Bei der Zeitumkehr würde viel von unserem Handeln und Erleben den Sinn verlieren.
5. Auch das bewusste *menschliche Ordnen*, Anordnen von Objekten erfolgt in der Zeit. Es wird vor allem durch zufällige Erscheinungen (thermodynamisch) oder bewusst z.B. beim Mischen von Spielkarten zerstört.

5 Erkennen von Zeit, insbesondere bei Kindern

Ein Wahrnehmen von Raum und Zeit muss sich für das Leben irgendwie entwickelt haben. Die Aussagen hierzu sind jedoch recht dürftig. Ein erstes Wahrnehmen von Zeit dürfte mit dem 1897 von IWAN PETROWITSCH PAWLOW (1849 - 1936) gefundenen bedingten Reflex zusammenhängen. Bei lebenswichtigen – gefährlichen wie erfolgreichen – und daher emotionsbetonten Ereignissen wird die zugehörige „rückwärtige, ganzheitliche Nachbarschaft“ irgendwie gespeichert. In der Zukunft kann sie dann als Vergleich zum Wiedererkennen ähnlicher Situationen herangezogen werden. Das bedeutet aber nur, »so etwas gab es schon einmal« und daher ist es günstig ähnlich bzw. anders zu handeln. Ob hierbei aber bereits die zeitliche Abfolge wahrgenommen wird, ist ungewiss. Ein „Gefühl“ für andere zeitliche Ereignisse, oder gar eine, wenn auch nur qualitative Zeitskala sind nicht erforderlich. Mehr Information liegt bezüglich der Entwicklung von Kindern vor. Für *Objekte* hat JEAN PIAGET (1896 - 1980) vier Stadien klassifiziert ([4], vgl. [5] S. 73, sowie [13]):

1. Mit weniger als 1½ Jahren begreifen sie Dinge in ihrer Umgebung nur im Wortsinne.
2. Mit etwa 1½ Jahren gewinnen sie ein Gefühl dafür, dass ein Objekt auch dann dasselbe bleibt, wenn es sich an einen anderen Ort bewegt oder nach gewisser Zeit wieder sichtbar wird.
3. Sind sie älter als 1½ Jahre, so bleiben Dinge für sie – unabhängig davon, was sie mit ihnen anfangen – existent. Weiter können alle Autos, alle Kuscheltiere usw. zu einer Gruppe zusammengefasst werden. Es entsteht ein Begriff der Menge oder der Klasse ähnlicher Dinge. Die Fähigkeit zu zählen ist aber erst noch eine linguistische Fähigkeit des Auswendiglernens.
4. Ab 4 bis 5 Jahre entsteht eine Verbindung zwischen auswendig gelernten Zahlen und der Menge von Dingen.

Auch für die *Zeit* fand PIAGET vier Stufen [6] bis [8]:

1. Sensomotorischer Zeitbegriff bis ins dritte Lebensjahr: Das Kind bildet sinnvolle Reihen von Vorgängen und Zeitschemas. Es kann die Handlungsabläufe nacheinander ordnen, aber Vorstellungen über Zeitdauer sind nicht entwickelt.
2. Anschaulicher Zeitbegriff zwischen drei und sieben Jahren: Steine, die größer sind, müssen älter sein als kleine Steine. Denn ein Mensch der größer ist muss auch älter sein! Doch ein Auto das schneller fährt und daher im gleichen Zeitraum eine längere Strecke zurücklegt, muss auch länger gefahren. Selbst wenn sie in diesem Alter die Uhr lesen können, haben sie überhaupt noch keine Vorstellung davon was eine Minute oder eine Stunde darstellt.
3. Operativer Zeitbegriff im Grundschulalter: Kinder können Zeitabschnitte handhaben, ohne dass sie in der konkreten Anschauung fixiert bleiben. Es bildet sich das Bewusstsein heraus: Zeit hat an allen Orten die gleiche Gültigkeit und die Zeitdauer setzt sich aus gleichen Zeiteinheiten zusammen. Wenn ihnen jemand sehr anschaulich über das Leben der Ritter im Mittelalter erzählt, fragen sie z.B. „Warst du damals dabei?“
4. Metrischer Zeitbegriff erst ab etwa 9 Jahren: Es gelingt ihnen, die Dauer von Handlungen genauer zu schätzen und vorherzusagen, z.B. wie viel Zeit eine Handlung beanspruchen wird.

Weitere Aussagen zur Erfahrung von Zeit bei Kindern enthält KLEIN [9] Zunächst entsteht – z.T. bereits im Mutterleib – ein Gefühl für Rhythmus (s. Kapitel 7). Ab S. 150 folgt dann:

„Schon mit einem Monat können Säuglinge Töne wieder erkennen, die ihnen mehrmals vorgespielt wurden. Einigen Experimenten zufolge merken sie bereits auf, wenn die Länge zweier Laute um zwei Hundertstelsekunden voneinander abweicht. ... Mit weniger als einem halben Jahr können sie bereits komplexe Takte auseinander halten. In Versuchen erkannten amerikanische Babys dieses Alters die vertrackten Rhythmen mazedonischer Volksmusik - eine Aufgabe, an der Erwachsene, wenn sie nicht selbst vom Balkan kommen, fast immer scheitern. ... Erst mit neun Monaten erscheint die Zukunft ... am Horizont: Nun kann das Baby im Durchschnitt immerhin gute sechs Sekunden lang warten, bevor es einen Plan verwirklicht (oder zu schreien beginnt). ... Mit zehn Monaten blickt es schon gute zehn Sekunden voraus. ... Mit etwa eineinhalb Jahren legen Mädchen und Jungen zudem ihre ersten bewussten Erinnerungen an. ... Mit vier Jahren können Kinder schon einen ganzen Tag überblicken. Sie ordnen Bildkärtchen, auf denen Leute aufstehen, Zähneputzen, das Haus verlassen, zu Abend essen und ins Bett gehen, in richtiger Reihenfolge. ... Ein Fünffähriger kann zwar eine Dauer von einer Sekunde reproduzieren, versagt aber bei längeren Zeiten. Und erst während ihrer Grundschulzeit, wenn sie schon längst das Lesen und Schreiben beherrschen, lernen Kinder, sich ungefähr einen Begriff davon zu machen, wie lange eine Minute dauert. ... Erst im Alter von ungefähr 13 Jahren, mit Beginn der Pubertät, gehen Kinder laut Piaget völlig fehlerfrei mit den Begriffen »früher« und »später«, »längere und kürzere Dauer« um.

6 Individuelles Erleben und Speichern von Zeit

Im Raum können wir uns bewegen und so verschiedene Orte genau erkunden. Der Zeit sind wir dagegen vollständig ausgeliefert. Sie läuft ab, ohne dass wir darauf irgendeinen Einfluss ausüben können. Daraus folgt mittelbar, dass uns ein Speichern von Zeit kaum möglich ist. Meist können wir uns jedoch daran erinnern, ob ein Ereignis morgens oder abends, im Sommer oder Winter stattfand, was für ein Wetter damals war usw. Kaum möglich ist es dagegen, die Zeitdauer eines vergangenen Ereignisses einigermaßen genau in Stunden, Minuten oder Sekunden anzugeben. KLEIN [9] überbetont dies auf S. 133 damit, dass unser Gedächtnis Teilinformationen über Orte, Farben, Formen, Gefühle, Töne, Düfte und Geschmack speichert,

aber keine über die Zeit, und dass unser Gehirn weder eine Zentraluhr noch einen Kalender besitzt. Andererseits können aber viele Menschen, wenn sie nachts aufwachen, die Uhrzeit spontan bis zu einer Viertelstunde genau angeben. Andere wachen gewöhnlich kurz vor dem Klingeln des Weckers auf.

Allgemein unterscheidet sich die subjektiv wahrgenommene Zeit deutlich von der physikalischen „gemessenen“ Zeit. Hierauf weist z.B. THOMAS MANN (1875 - 1955) in seinem „Zauberberg“ hin. Dort kommt Hans Castorp nach Davos, um seinen kranken Vetter zu besuchen. Ein Schnupfen bewirkt, dass viermal am Tag Fieber gemessen wird. Dies führt schließlich zur Depression. Im Bezug auf die subjektive Zeit folgert MANN dann, dass einerseits Minuten zu Stunden werden und andererseits Tage verfliegen. Generell sind so abwechslungsreiche, kurzweilige, angenehme Ereignisse und Langeweile, z.B. beim Warten oder bei eintöniger Arbeit, zu unterscheiden. Bei Langeweile scheint die Zeit einfach nicht zu vergehen. Wir *erleben* so Zeit, die jedoch kaum voranschreitet. Dagegen spüren wir während interessanter Ereignisse nichts von der Zeit. Wir sind vom Geschehen viel zu sehr in Anspruch genommen, um auch noch die Zeit subjektiv wahrzunehmen. Dies geschieht erst nachher. Die Zeit ist dann verfliegen.

Wie und was von ablaufenden Geschehen im Gedächtnis gespeichert wird, ist genauer in [3] untersucht. Dies wird hier teils vereinfacht und teils ergänzt dargestellt. Zunächst sind dazu **Ereignisse** einzuführen, die wir u.a. teilweise passiv erleben oder aktiv mitgestalten können. Generell werden sie mehr oder weniger bewusst erlebt. Formal vereinfacht können sie durch ihre **Dauer** Δt und ein **Gewicht** G beschrieben werden. Während die Dauer mit der physikalischen Zeit gemessen werden kann, hängt das Gewicht erheblich von unseren subjektiven Hoffnungen, Wünschen, Bedürfnissen usw. ab und betrifft teilweise auch unsere Zukunft. Bei einmaligem und prägendem Geschehen ist das Gewicht sehr groß. Hierzu zählen z.B. der erste Kuss, die Hochzeit, die Geburt eines Kindes, eine bestandene Prüfung usw. Bei Langeweile ist das Gewicht sogar praktisch Null. Das ist eine Folge davon, dass Zeit vom Gedächtnis nicht gespeichert werden kann. Das Produkt $P = \Delta t \cdot G$ entspricht etwa der jeweils im Gedächtnis gespeicherten Information. Nur sie kann später erinnert werden. Die prinzipiellen Zusammenhänge hierzu demonstriert das **Bild 5**. Es gilt für eine bestimmte Vergangenheit und die aktuelle Gegenwart von ca. 10 Sekunden Dauer. Der vertikale Maßstab bei den Teilbildern A) bis C) entspricht der physikalischen Zeit – *so war es!* Im Teilbild A) ist der Verlauf durch die zurückliegenden, damals aktuellen Ereignisse bestimmt. Zur deutlichen Unterscheidung sind die einzelnen Ereignisse unterschiedlich farbig dargestellt. Ihre damalige Dauer Δt entspricht ihrer Länge auf der physikalischen Zeitachse, die maximale Höhe dem subjektiven Gewicht G . Im Teilbild B) ist herausgehoben, wann eine Informationsspeicherung erfolgt (hellgrüner Bereich) und wann nicht (rosa Bereich). Teilbild C) zeigt auf, wie dabei die gespeicherte Informationsmenge zunimmt. Das Teilbild D) fasst zusammen, was vom Gespeicherten in der aktuellen Gegenwart erinnert werden kann – *so ist es jetzt!* Nur im geringen Umfang besteht dabei Ähnlichkeit zum Originalverlauf. Von dem ursprünglichem Geschehen können wir nur noch einige Fakten nachvollziehen, nämlich die gespeichert wurden. Dadurch sind auch die Zeiten der Ereignisse in ihrer Länge geschrumpft. Ferner fehlen die Zeiten der Langeweile, denn von ihnen ist praktisch Nichts gespeichert worden. So liegen die Ereignisse unmittelbar nebeneinander. In diesem Beispiel ist so die gesamte „zeitliche“ Länge auf etwa ein Viertel zusammengeschrumpft. Entsprechend ist auch die erinnerbare subjektive Zeit verkürzt. Die damalige physikalische Zeit ist in der Erinnerung nicht mehr zu finden. Es bleibt aber im Wesentlichen die Abfolge der Ereignisse erhalten. Doch rückwirkend betrachtet, nimmt jetzt die Informationsmenge zur fernerer Vergangenheit zu (s. Kurve). Soll nun z.B. das hell gelbgrüne Ereignis erinnert werden, so muss auf seinen Beginn zurückgegriffen werden und von da aus der Zeitablauf nachvollzogen werden. Trotz Rückgriff auf vergangene Zeiten können wir physikalisch rücklaufend nicht erinnern. Die Ereignisse laufen anders als bei der

Zeitumkehr in der Physik, nämlich genauso gerichtet ab, wie sie erlebt wurden. Das Bild erklärt so insgesamt die bekannte Erfahrung, dass Zeiten, in denen wir nichts erlebt haben und wir uns gelangweilt haben, rückwirkend so gut wie nicht existieren. Je mehr und intensiver (G) wir dagegen etwas erlebt haben, desto länger erscheint uns rückwirkend auch die Zeitdauer Δt . So folgt, wenn wir in der letzten Zeit wenig erlebt haben erscheinen uns die vorangehenden Ereignisse recht nahe an der Gegenwart liegen. Erlebten wir dagegen in der letzten Zeit viel Interessantes, so scheinen die davor liegenden Ereignisse weiter entfernt zu sein. Eigentlich müsste dieses Modell noch unterschiedlich für die verschiedenen Gedächtnisarten (z.B. Gegenwarts-, Kurz- und Langzeitgedächtnis) gestaltet werden. Darauf sei hier verzichtet.

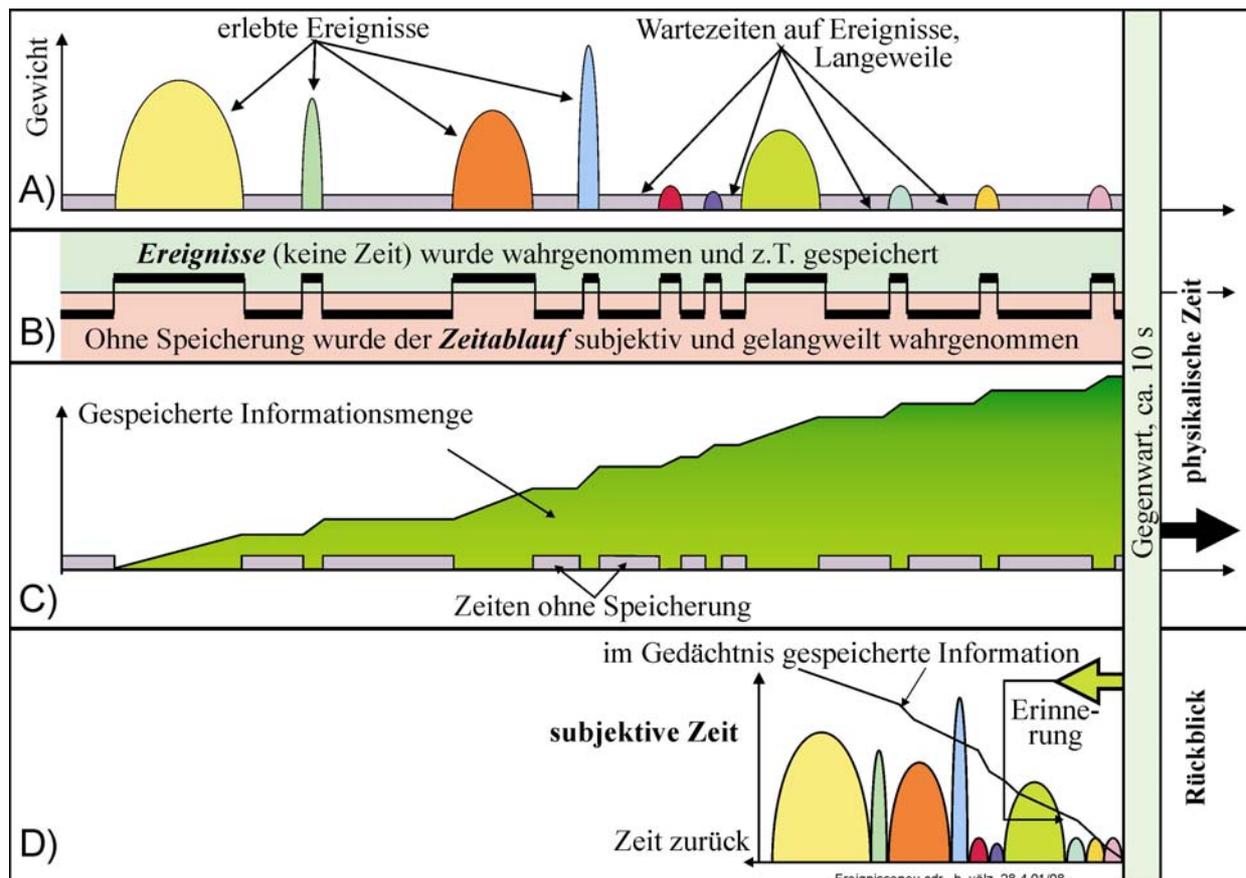


Bild 5. Schematische Darstellung zum Speichern von Ereignissen und zum Nichtspeichern von Langeweile, sowie zur Erinnerung des Gespeicherten.

Bisher wurde angenommen, dass alle Ereignisse unterschiedlich sind. Doch viele Ereignisse wiederholen sich. Mit jeder Wiederholung nimmt dabei das Gewicht ab. So etwas gilt z.B. für das tägliche Zähneputzen, Tag – Nacht, Einschlafen – Erwachen und die Jahreszeiten. Stark vereinfacht kann angenommen werden, dass für das Gewicht der n -ten Wiederholung nur noch G/n beträgt. Vieles ist bekannt, muss daher nicht noch einmal gespeichert werden. Es sind nur die Änderungen bzw. Besonderheiten zu merken, wie etwa heute zerbrach die Zahnbürste. Werden nun zur weiteren Betrachtung alle übrigen Ereignisse und Zeiten ausgeblendet, so ergibt sich **Bild 5** Teil A). Die Zunahme der Information wird folglich von Mal zu Mal geringer. Im Rückblick zeigt ein weiterer Effekt eine besonders deutliche Auswirkung: Der Informationszufluss aus unserem Gedächtnis zu unserem Bewusstsein ist mit etwa 15 Bit/s weitgehend konstant. Daher muss nun die Speicherkurve linearisiert werden (Teil B). Aus den übertragenen grünen bis hellgrünen Bereichen werden jetzt die roten bis rosa Flächen. Obwohl die Zeiten aller Wiederholungen gleichlang (Δt) waren, tritt dadurch die n -te Wiederholung so ins Bewusstsein, als wäre sie um $1/n$ verkürzt. Auf dieser Basis lässt sich relativ leicht ein weiterer Effekt erklären: Mit zunehmenden Alter scheint die subjektive Zeit

deutlich schneller abzulaufen. Je älter wir werden, desto weniger wirklich Neues erleben wir. Die Wiederholungen werden ja immer häufiger. Rückblickend ist daher in den letzten Jahren meist deutlich weniger Information gespeichert als früher. Dies ist u.a. ein Grund dafür, dass erst ältere Menschen Ereignisse wahrnehmen, die ihnen als sie Kinder waren, so selbstverständlich erschienen, dass sie keine Bedeutung erlangten (z.B. das Blühen im Frühling). Damit gleichen sie aus, dass sie weniger Neues erleben. Sie erlangen die Fähigkeit zu einer differenzierten Betrachtung von sich wiederholenden Ereignissen. Zusammengefasst sind somit immer zwei Aspekte bezüglich der Zeit zu unterscheiden.

- Wir erleben bewusst eine **subjektiven Gegenwart**, die etwa eine physikalische Dauer der aktuellen 10 Sekunden einnimmt. Sie liegt zwischen Vergangenheit und Zukunft. Findet in dieser Zeitspanne ein Ereignis statt, dann „erleben“ wir keine Zeit sondern nur das Ereignis. Die Zeit vergeht wie im Fluge³. Findet dagegen kein Ereignis statt, so warten wir auf das kommende Ereignis oder sorgen eventuell aktiv dafür (das ist bereits ein Ereignis). Aber bis das nächste Ereignis eintritt, spüren wir deutlich den Ablauf der Zeit. Wenn das Warten länger dauert, tritt die befürchtete Langeweile ein.
- Wir schauen rückwärts auf unsere **früheren Erlebnisse**, in die Vergangenheit. Wir können uns dann nur an Einiges erinnern, was damals geschah. Dabei entsteht bestenfalls ein sehr grobes Gefühl über die damalige Zeitdauer. An Zeiten wo nichts geschah, wo Langeweile herrschte, haben wir so gut wie keine Erinnerung. Die entsprechende Zeitspanne erscheint sehr klein oder ist gar völlig ausgeblendet.

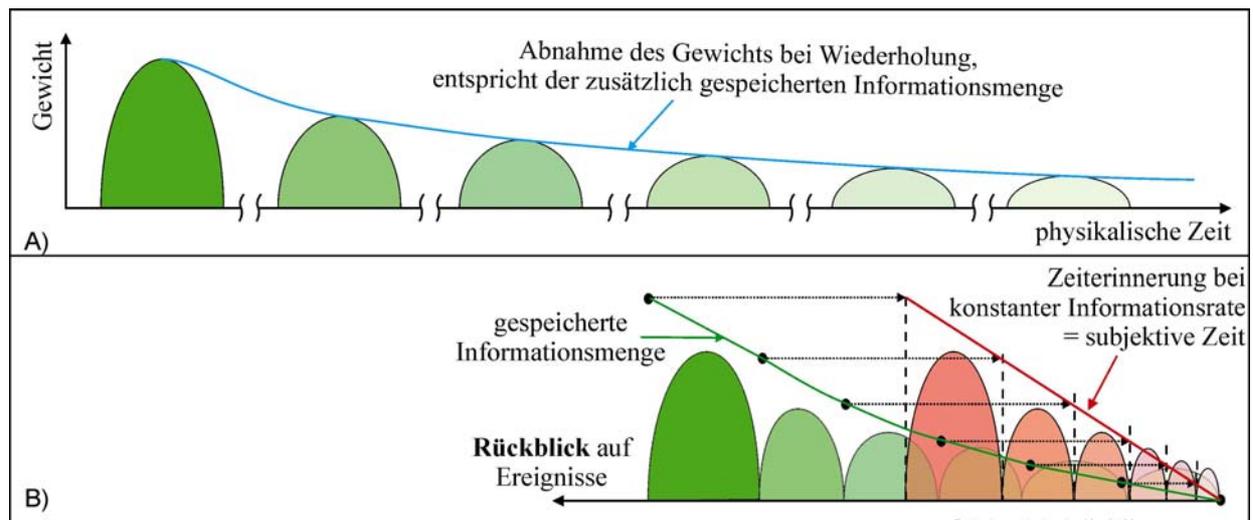


Bild 6. Betrachtung zur Speicherung und Erinnerung von einem sich wiederholenden Ereignis.

7 Zyklische Zeit, Synchronisation, Takt und Rhythmus

Regelmäßig, periodisch bzw. zyklisch⁴ wiederkehrende Ereignisse erleben wir von Geburt an, vor allem bei der Ernährung und als Tag-Nacht-Wechsel. Schon die alten Ägypter hatten Sorge, dass am nächsten Morgen die Sonne nicht wiederkommen könnte. Sie schufen daher den ewig lebenden Sonnengott Re, der täglich in einer Barke über das Himmelsgewölbe fuhr. Abends

³ Dass wir beim packenden Erlebnis (entspricht dem Speichern) keine Zeit „wahrnehmen“ scheint eine allgemeine Eigenschaft jeder, auch der technischen Speicherung zu sein. Sie besteht ja gerade darin, dass die aktuelle Gegenwart für die Zukunft „konserviert“ wird.

⁴ **Zyklus** geht auf das *griechische kyklos* Kreis, Umkreis, Rad, kreisförmiger Gegenstand, Kreislauf und auf das *lateinische cyclus* Kreis, astronomischer Zeitkreis, Erd-, Sonnen-, Mondkreis zurück. **Periode** geht auf das *griechische periodos* zurück. Es bedeutet Umhergehen, Gang um etwas herum, Kreislauf der Zeit und der Gestirne, regelmäßige Wiederkehr in der Zeit, Zeitabschnitt, abgerundeter Redesatz und Abteilung im Vers. Dazu gehört *lateinische periodus* Kreislauf, gegliederter Satz und Satzschlusszeichen

tauchte er in das Reich der Unterwelt, aus dem er am Morgen unverseht emporstieg. Für die nächtliche Jagd waren bei den frühen Menschen der Vollmond und damit der Mondwechsel wichtig. Hieraus entstand der heute nicht mehr mit ihm übereinstimmende Monat. Für das Säen und Ernten hatten schon lange die Jahreszeiten große Bedeutung. Aus diesen und vielen weiteren Gründen ist die periodische Zeit meist unmittelbarer als der Zeitpfeil zu erleben. Sie ist auch besonders nützlich. Durch sie sind nämlich Voraussagen (und Erwartungen) über die Zukunft möglich, was die Sicherheit deutlich erhöht. Um jedoch eine periodische Zeit zu erkennen, muss – ähnlich wie bei der Ständigkeit von Objekten in These 9, Kapitel 3 – die Beobachtungszeit T_{Beob} etwa 3 bis 20-mal länger als die Periodendauer T_{Per} sein. Eine Eintagsfliege mit $T_{Beob} \approx 1$ Tag kann weder einen Tages- noch Jahres-Rhythmus wahrnehmen. Andererseits sind auch zu schnelle und zu häufige Perioden nicht unmittelbar feststellbar. Die rund fünfzig Bildwechsel in der Sekunde beim Film und Fernsehen erleben wir als kontinuierlichen Ablauf. Die Zeitauflösung Δt der Beobachtung muss deutlich höher als die Periodenlänge $\Delta t \ll T_{Per}$ sein. Infolge dieser Grenzen ist es erstaunlich, dass bereits im 2. Jahrtausend v.Chr. die Babylonier festgestellt hatten, dass sich Sonnenfinsternisse in einem etwa 18-jährigen Zyklus wiederholten. THALES VON MILET (ca. 625 – ca. 547 v.Chr.) soll sogar die Sonnenfinsternis vom 28.5.585 v.Chr. vorausgesagt haben.

Vielfach sind periodische Vorgänge durch andere Erscheinungen überdeckt. So war es erst mit der Rechentechnik ab den 60er Jahren über die Autokorrelation möglich, viele (vielleicht sogar zu viele) biologische Rhythmen zu finden. Eine Zusammenfassung zeigt **Bild 7**. Der hellblaue Bereich ① erfasst die längeren Perioden. Durch die Bereiche ② bis ④ wird er zu kürzeren mit vielen Details ergänzt. Besonders herausgehoben und durch reziproke Frequenzen gekennzeichnet ist dann der Bereich ③. Hier liegen u.a. die Atmung und der Herzschlag. Ferner befinden sich hier auch die musikalischen Tempobezeichnungen in Schlägen je Minute. Sie sind durch das Metronom von JOHANN NEPOMUK MÄLZEL (1772 – 1838) von 1816 festgelegt. Ferner finden in diesem Bereich vielfältige Synchronisationen gemäß ⑤ statt (s.u.). Die schnellsten biologischen Perioden liegen im Bereich ④ und betreffen fast ausschließlich die Aktionspotentiale der Neuronen und die Bewegungen schneller Muskeln. Bei Insekten treten hier z.B. Flügelfrequenzen bis zu einigen hundert Hertz auf.

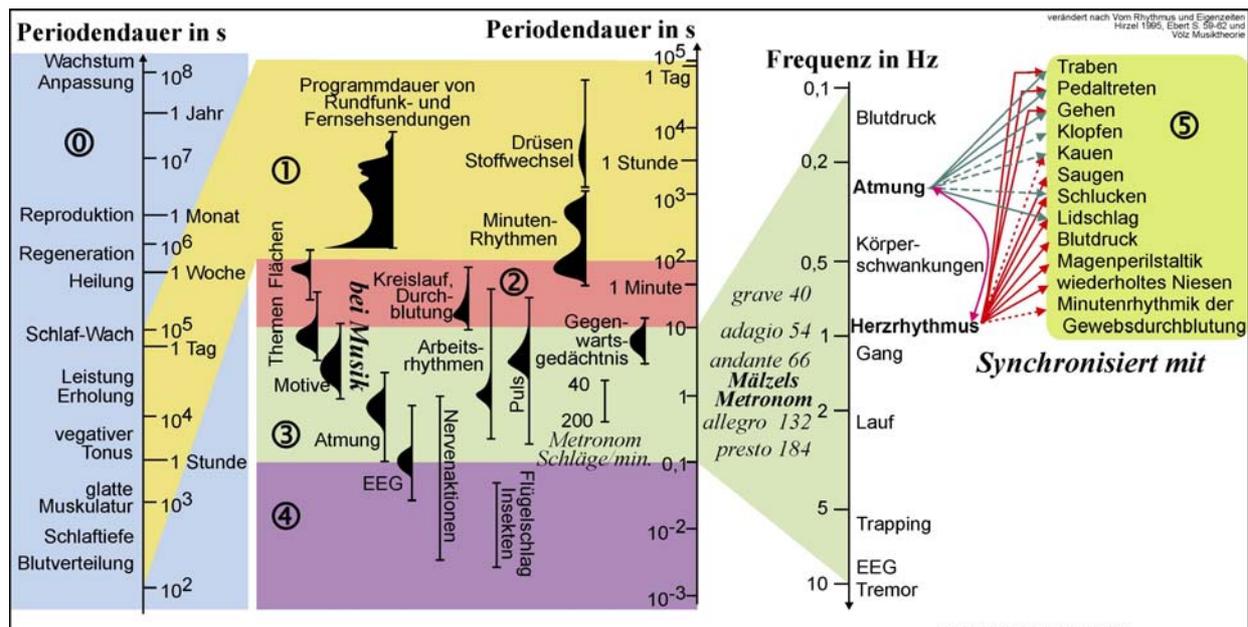


Bild 7. Übersicht zu vielfältigen Rhythmen des Lebens (vgl. [5]).

Es ist schon erstaunlich, dass es so viele und so verschiedenartige Perioden im Leben und in der Natur sowie in der Wissenschaft und Technik gibt. Die Begründung ergibt sich recht zwanglos

aus der Resonanz von schwingfähigen und rotierenden Gebilden. Ihre Resonanzfrequenz ist dabei durch recht unterschiedlich große Parameter bestimmt, z.B. beim Pendel durch seine Länge, beim Schwingkreis durch seine Induktivität und Kapazität und beim Planetensystem durch den Abstand zum Zentralgestirn. Die Schwingungen der Gebilde können von Außen durch andere, vorwiegend ähnliche Frequenzen beeinflusst werden. Dabei ergibt sich eine Resonanzkurve, wie sie **Bild 8a** andeutet. Bei konstanter Intensität (Amplitude) der erregenden Frequenz entsteht ein ausgeprägtes Maximum der Schwingungsamplitude dort, wo die erregende Frequenz mit der Resonanzfrequenz des Gebildes übereinstimmt. Die erreichbare Güte ist dabei ein Maß dafür, um wie viel größer die Amplitude bei der Resonanzfrequenz wird. Gütewerte bis zu einigen Tausend sind durchaus möglich. Die bei der Resonanz erzeugte Amplitude des Gebildes ist etwa G -mal größer. So funktioniert das Schaukeln eines Kindes durch sehr kleine Schwerpunktverlagerung oder die Frequenzselektion beim Rundfunk und Fernsehen. Mit geringer Einflussnahme werden durch die Resonanz sehr große Wirkungen erreicht. Dies ermöglicht nicht nur für das Leben sehr ökonomische Vorgänge. Außerdem wird die Resonanzfrequenz stark aus allen anderen Frequenzen (Störungen) herausgehoben. Die Halbwertsbreite Δf ist hierfür und hierbei immer etwa umgekehrt proportional zur Güte $G \sim 1/\Delta f$.

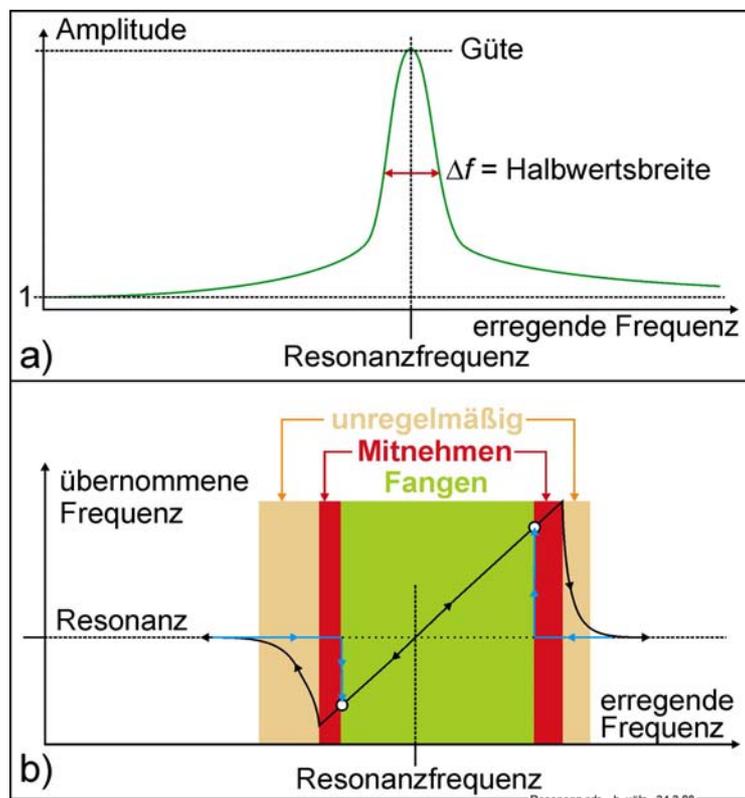


Bild 8. Vereinfachter Verlauf der Resonanzkurve und bei schwingfähigen Gebilden (a) und Mitnahmeeffekt durch eine erregende Frequenz mit konstanter Amplitude (b). Die Mitnahme kann auch bei einem ganzzahligen Verhältnis zwischen erregender und übernommener Frequenz erfolgen.

Ein weiterer Effekt von resonanzbehafteten Gebilden betrifft Mitnahmevorgänge und Synchronisation⁵. Im grün gezeichneten Fang-Bereich von Bild 8b erzwingt die erregende Frequenz immer – auch wenn sie plötzlich oder nur kurzzeitig auftritt –, dass sich das Gebilde ebenfalls mit dieser Frequenz bewegt. Der Übergang in diesen Bereich erfolgt entsprechend der blauen Kurve unvermittelt plötzlich. Ist dagegen die Synchronisation zwischen erregender

⁵ Griechisch *synchronos* gleichzeitig, von gleicher Dauer und Zeit; griechisch *chronos* Zeit.

Frequenz und der Schwingung des Gebildes bereits erreicht, dann kann sich die erregende Frequenz sogar bis in den roten Mitnahmebereich verändern (schwarzer Verlauf), ohne dass dadurch die Synchronisation verloren geht. Im gelb-braunen Bereich folgt das resonanzbehaftete Gebilde der erregenden Frequenz nur noch unregelmäßig. Außerhalb der farbigen Bereiche hat die erregende Frequenz so gut wie keinen Einfluss. Im Fang- und Mitnahmebereich genügt immer eine sehr kleine Energie zur Aufrechterhaltung Synchronisation. Das ist insbesondere für die Koordination vieler biologischer Vorgänge von großem Vorteil, vgl. dazu in Bild 7 den Bereich ☺.

Unser Leben ist u.a. ganz wesentlich durch den täglichen Hell-Dunkel-Rhythmus mit 24 Stunden (diurnal oder circadian) bestimmt. Fehlt der äußere Einfluss, so bewirkt ein interner Taktgeber eine frei laufende Periode von etwa 24,8 Stunden (Resonanzfrequenz). Nach etwa 14 Tagen (im Dunkeln) entkoppeln sich sogar der Schlaf- und Körpertemperatur-Rhythmus auf 33,4 für Schlafen - Wachen und 25,1 Stunden für die Temperatur. Wie der Jetlag (beim Flug über mehrere Zeitzonen) zeigt, treten außerdem durch „falsche“ äußere Taktung beachtliche vegetative Störungen auf. Es ist eine übliche Erscheinung, dass die Synchronisation meist besser gelingt, wenn die erregende Schwingung ein wenig höher als die Resonanz- bzw. Eigenfrequenz ist (s.o.). Die Synchronisation funktioniert eben besser, wenn das die Synchronisation auslösende Signal zu früh auftritt. Eine Verzögerung (Verlangsamung) der Eigenschwingung ist deutlich schwieriger. In Bild 8b ist daher der rechte grüne Anteil breiter. In diesem Sinne ist auch die Stärke des Jetlags abhängig von der Flugrichtung.

Ein weiteres Beispiel ist die Synchronisation zwischen Herzschlag und Atmung im Verhältnis von 1 : 4. Hieraus ergibt sich die große Bedeutung des $\frac{4}{4}$ -Taktes in der Musik (u.a. Marschmusik) und das weiche Schweben des $\frac{3}{4}$ -Taktes beim Walzer. Weitere Details enthält u.a. [5].

Bestimmte Frequenzen für Mitnahmevorgänge betreffen auch **Takt** und **Rhythmus**⁶, die zuweilen leider gleich gesetzt werden. Ihren Unterschied hat vor allem LUDWIG KLAGES (1872 – 1956) deutlich herausgearbeitet [10]. Die Frequenz eines Taktes steht unveränderlich fest. Heute hat er vor allem in der Technik große Bedeutung. Auf uns wirkt ein Takt ermüdend und anstrengend. Die Frequenz eines Rhythmus schwankt dagegen ständig und weicht so meist vom (synchronisierenden) Takt ab. Jedoch im Mittel über einen hinreichend langen Zeitraum stimmen Rhythmus und Takt überein. So passt sich die Frequenz des Rhythmus verschiedenen Bedingungen an und ist daher betont biologisch und musikalisch wirksam. Gerade die absichtlichen und „richtigen“ individuellen Abweichungen vom exakten Takt (Metrum in der Musik) bestimmen den musikalischen Genuss, das musikalische Erleben. Dabei wird die Erwartung auf den Takt z.B. als Hoffnung oder Furcht wirksam.

Streng genommen gibt es auch für den technischen Takt nicht eine einzige, genau feststehende Frequenz. Auch er schwankt immer, wenn auch in sehr engen Grenzen – u.a. infolge von thermischen oder Quantenrauschen – statistisch um einen Mittelwert. Wichtig ist jedoch, dass diese Schwankungen im Vergleich zu allen anderen Erscheinungen für die der Takt gültig sein

⁶ **Rhythmus** stammt vom *griechischen rhythmós* und dem lateinischen *rhythmus*. Beide bedeuten gleichmäßige, taktmäßige Bewegung, Takt, Gleichmaß, Tonfall der Rede (von *rhyesthai* als ziehen), besonders auch Strömen, Strom als Sinnbild einer steten und gleichförmigen Bewegung, vor allem der Meereswellen (ähnlich *griechisch rhein* für fließen, strömen). Im Althochdeutschen steht *ritmusen* für gleichförmig abgemessene Bewegung; im 18. Jh. für zeitliches Ebenmaß, gleichmäßige Gliederung eines Ton- oder Bewegungsablaufes, gleichmäßige Wiederkehr von Vorgängen. **Takt** geht auf das *lateinische tactus* Berührung, Gefühlssinn, Gefühl und das *lateinische tangere* (tactum) berühren, beeindrucken, zurück. Im 16. Jh. kommt er ins Deutsche, zunächst nur für tastende Berührung. 1524 taucht er erstmalig für die Uhr des Straßburger Münsters auf, wo ein Engel den Takt zu den Glocken schlägt. Nach dem 16. Jh. erscheint er auch in den Taktstrichen, also für eine kleinste *musikalische* Einheit; Anfang des 17. Jh. auch in der *Verslehre* für die kleinste metrische Einheit (Hebungen und Senkungen der Stimme). Später für den regelmäßigen, durch die Hemmung ausgelösten Schlag der *Uhren*. Etwa ab dem 19. Jh. wird er auf viele technische Einrichtungen (Viertaktmotor) übertragen. Im übertragenen Sinn wird Takt auch als feines *Gefühl für Anstand und Schicklichkeit* sowie als Taktik bei Spielen und beim Militär (Strategie) benutzt.

soll, vernachlässigbar sind. Auf dieses Problem wurde bereits für die Festlegung des Zeitmaßstabes auf S. 7 hingewiesen.

8 Zeitmaßstäbe

Je nach dem Betrachtungszeitraum hat die Menschheit unterschiedliche Maßeinheiten⁷ und Hilfsmitteln entwickelt. Für die Jahre, Monate, Wochen und Tage entstand der typische Jahreskalender und bei feinerer Unterteilung der Terminkalender. Letzterer berücksichtigt auch die Stunden und z.T. Minuten des Tages. Eine feinere Untergliederung des Tages ist mittels der gewöhnlichen Uhr möglich. Für Sekunden und noch kürzere Zeiten wird die Stoppuhr benutzt. Für wissenschaftliche Analysen sind dann noch speziellere Methoden erforderlich. Alle diese Hilfsmittel sind dadurch gekennzeichnet, dass sie den Zeitablauf entsprechend ihres Taktes gleichmäßig und gleichbleibend *linear* messen und teilen. Das gilt zunächst gleichermaßen für Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Erstaunlich ist daher, dass die Religionen – insbesondere angesichts des Todes – es für notwendig hielten, die *Ewigkeit* (für die Seele) als Zeit ohne Ende einzuführen. Selbst IMMANUEL KANT (1724 – 1804) schwärmte noch von den ewigen Gesetzen des gestirnten Himmels über uns und dem ewigen moralischen Gesetz in uns. Er konnte dabei noch nicht den Vergleich zur *aktuellen Unendlichkeit* (Abzählbarkeit) gemäß GEORG CANTOR (1845 – 1918) anstellen. Daher war Ewigkeit zunächst auch nicht in diesem Sinn zu verstehen.

Leider ist es oft nicht möglich, mit der linearen Zeiteinteilung auszukommen. Bezüglich der subjektiven Vergangenheit ist darauf im Kapitel 6 eingegangen. Doch auch in der Wissenschaft sind spezielle Zeiteinteilungen notwendig. Linearität zwischen dem Weg x und der Zeit t besteht vor allem bei konstanter Geschwindigkeit v gemäß $x = v \cdot t$. Jedoch beim freien Fall oder bei konstanter Beschleunigung g gilt bereits $x = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$. Viele Vorgänge verlaufen exponentiell in der Zeit $x = e^{t/t_0}$. Dies ist u.a. bei der Radioaktivität und einer Widerstands-Kondensator-Schaltung erfüllt. Die Zeitkonstante t_0 ist dabei meist negativ. Noch komplizierter ist z.B. der Umlauf eines Planeten auf der elliptischen Bahn. Hier gilt das 2. Keplersche Gesetz, dass in gleicher Zeit gleiche Flächen zum Zentralgestirn durchlaufen werden. Dieser Zusammenhang ist explizit nicht einmal in einer einfachen Formel gemäß $x = f(t)$ auszudrücken.

Bei der graphischen Darstellung von vergangenem Geschehen sind Zeitskalen nützlich. Oft müssen hier der Übersichtlichkeit oder ungefähr gleichmäßigen Belegung mit Ereignissen auch nichtlineare Maßstäbe verwendet werden. Drei vereinfachte Beispiele zeigt **Bild 9**. In Teilbild a) ist der Zeitmaßstab von „heute“ rückwärts gerichtet linear in Milliarden Jahre geteilt. Da die Zunahme der Gensorten in etwa exponentiell erfolgte war eine logarithmische Teilung der Ordinate erforderlich. Für die Evolution der Tiere und des Menschen nimmt die Anzahl der Gensorten besonders steil zu. In Bild 8b ist für den Abschnitt der Menschwerdung bereits eine rückwärts gerichtete logarithmische (exponentielle) Zeiteinteilung erforderlich. Nur so sind die wesentlichen Ereignisse einigermaßen gleichabständig einzutragen. Wenn in solchen Darstellungen auch Ereignisse v.Chr. und n.Chr. einbezogen werden müssen, ergeben sich zusätzliche Probleme des Maßstabs. Sie werden noch größer, wenn hierbei Ereignisse sehr nahe der Gegenwart auftreten sollen. Hier veraltet die Aussage dann extrem schnell. Dies macht oft technische Darstellungen so schwierig (s.u.). Eine ganz ungewöhnliche Einteilung verlangt die Darstellung der Evolution des Kosmos (Bild 8c). Der Urknall liegt etwa 15 Milliarden Jahre zurück. Dennoch ist für die Beschreibung der Ereignisse von ihm aus eine logarithmische Zeiteinteilung erforderlich. Das bedeutet, dass es in den ersten extrem kurzen Zeitabschnitten genauso viel darzustellen gibt, wie später in Jahrtausenden oder -milliarden von Jahren. Die

⁷ Die Einführung und Entstehung von Jahren, Monaten, Wochen, Tagen, Stunden, Minuten und Sekunden ist ausführlich in [5] enthalten und wird daher hier nicht weiter betrachtet.

Skala muss also reziprok zu den sonst üblichen Betrachtungen geteilt werden. Die philosophische Bedeutung hiervon ist relativ unklar. Teilweise liegen ähnlich Verhältnisse bei der individuellen Entwicklung des Menschen vor. Es ist erstaunlich, was ein Kind in den ersten Tagen, Wochen, Monaten und Jahren Neues lernt. Derartige Entwicklungen werden u.a. dadurch etwas einsichtig, dass hierbei immer auf das bereits aktuell Vorhandene bezogen wird und das ist zunächst ja sehr wenig.

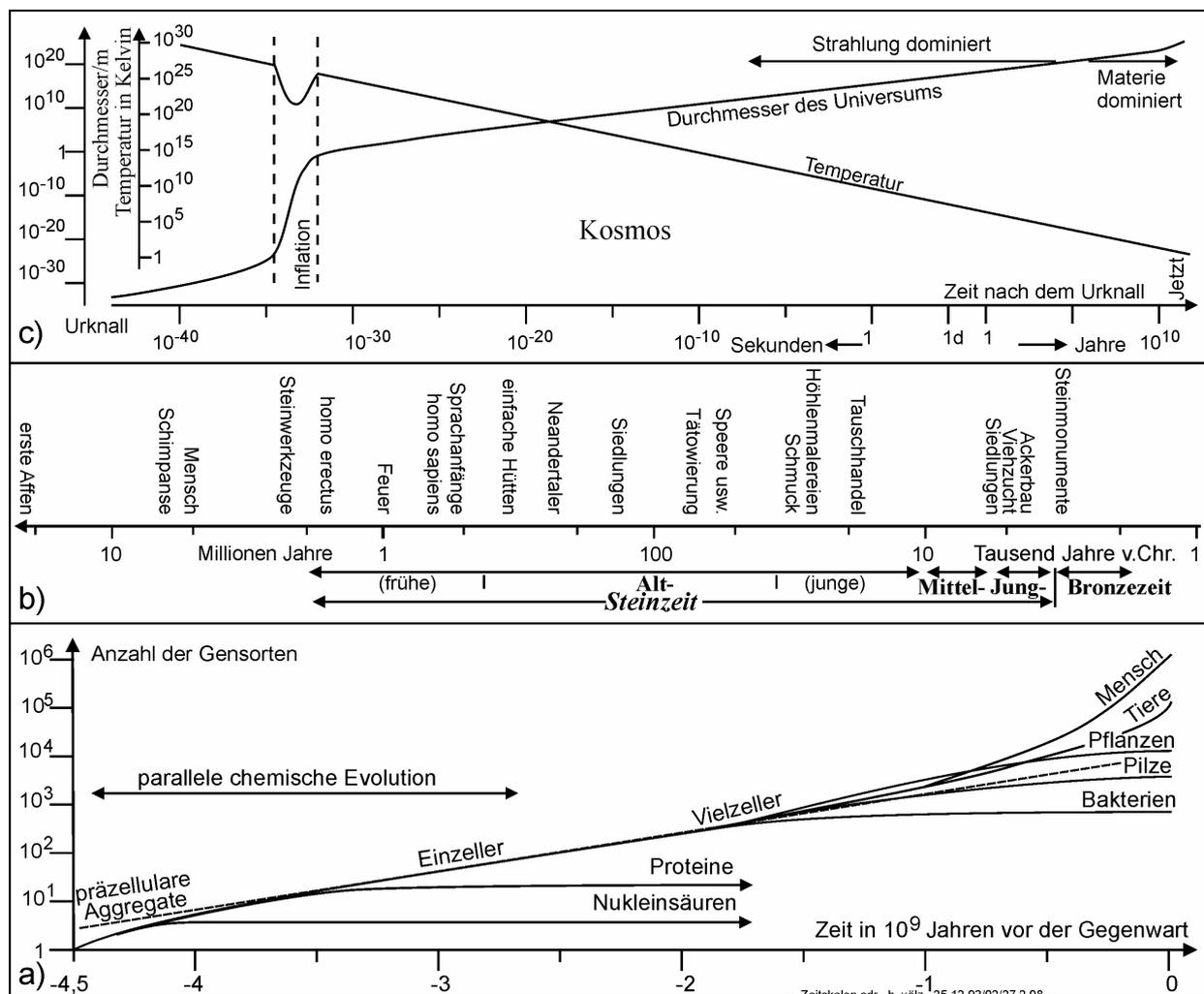


Bild 9. Aus [10] vereinfachte Beispiele zur Demonstration verschiedener Zeitmaßstäbe: a) linear, b) rückwärts und c) vorwärts exponentiell.

Für die Beschreibung von Wachstumsprozessen mit begrenzten Ressourcen ist eine besondere Zeitskalierung wichtig. Sie wird auch bei Prognosen in der Wissenschaft benutzt (*lateinisch prognosis*, im Voraus erkennen und *prognosticare* ahnen, vorhersagen, erheben). Der zu betrachtende quantitative Wert, z.B. die Anzahl von Produkten bzw. Individuen oder ein Marktwert, sei N . In einfachen Fällen wird angenommen, dass der Zuwachs mit einer Konstante α proportional zur vorhandenen Anzahl ist:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha \cdot N(t).$$

Durch Integration folgt daraus ein exponentielles Wachstum mit den Startwerten t_0 und N_0

$$N = N_0 \cdot e^{\alpha \cdot (t - t_0)}.$$

Vielfach wird aber dieses exponentielle Wachstum durch endliche Ressourcen auf ein Maximum M begrenzt. So entsteht die Differentialgleichung

$$\frac{dN}{dt} = \alpha \cdot N(t) \cdot \frac{M - N(t)}{M} .$$

Mit einem Startwert b ergibt sich für die kumulierten Werte N eine S-förmige Kurve

$$N(t) = \frac{M}{1 + e^{-(\alpha \cdot t + b)}} .$$

Sie heißt auch logistische Kurve und wurde erstmalig um 1926 von VITO VOLTERRA (1860 - 1940) für das Räuber-Beute-Verhalten benutzt. Inzwischen hat sie zu einer gewaltigen Fülle von Anwendungen geführt, wovon in [12] zwar viel aber dennoch nur ein kleiner Teil enthalten ist. In **Bild 10** ist der typische Verlauf für drei Beispiele durch passende Maßstäbe zusammengefasst. Der Anfang verläuft exponentiell um dann in eine Gerade überzugehen. Insbesondere [12] weist weiter darauf hin, dass mit dieser Rechnung auch unbekannte Daten zu ermitteln sind. So zeigt das Bild 10b die Anzahl der Expeditionen seit CHRISTOPH KOLUMBUS (1451 – 1506). Die S-Kurve ist hier nur dann anpassbar, wenn vor KOLUMBUS bereits 15 Expeditionen mit einem Beginn um 1340 angenommen werden.

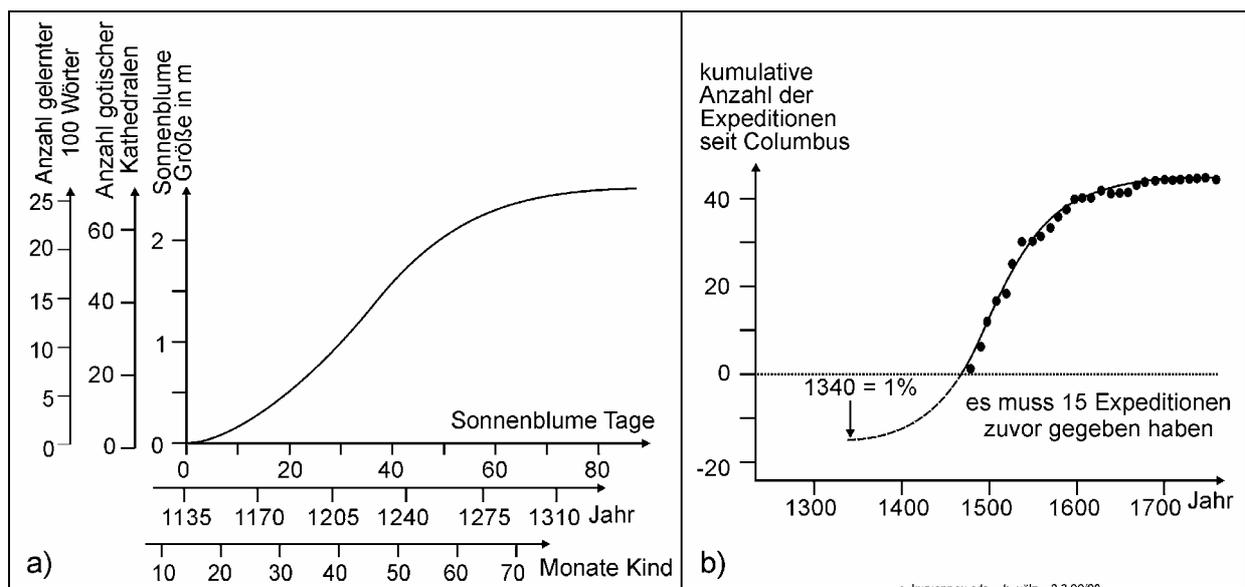


Bild 10. Drei Beispiele für logistische Wachstumskurven (a) und eine Anwendung mit Berechnung des vermuteten Startwerts [12].

Literatur

- [1] Barrow, J. D.: Das 1×1 des Universums. Rororo, Reinbeck b. Hamburg 2006
- [2] Lesch, H., Gaßner, J. M.: Die Dimensionen des Lebens, Physik Journal 2007 H.4. S.31 - 36
- [3] Gell-Mann, M.: Das Quark und der Jaguar. Piper, München 1994
- [4] Piaget, J.: Psychologie der Intelligenz. Klett, Stuttgart 1966
- [5] Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Allgemeine Grundlagen für Naturwissenschaft, Technik und Medizin. Shaker Verlag, Aachen 2001
- [6] Piaget, J.: Die Bildung der Zeitbegriffes beim Kinde. Frankfurt: Suhrkamp, 1974
- [7] Schnabel, M.: Das Zeitverständnis des Kleinkindes: http://www.familienhandbuch.de/cmain/f_Aktuelles/a_Erziehungsfragen/s_217.html. Download 15.2.08
- [8] Rathsmann-Sponsel, I., Sponsel, R.: Grundwissen Zeitbegriff bei Kindern. Literaturliste. http://www.sgipt.org/gipt/entw/zeit/zeit_gw.htm. Download 15.2.08
- [9] Klein, St.: Zeit, der Stoff aus dem Leben ist S. Fischer, Frankfurt/Main 2006

- [10] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 1 Grundlagen und Anwendung in Natur, Leben und Gesellschaft. Shaker Verlag Aachen 2003
- [11] Klages, L.: Vom Wesen des Rhythmus. Niels Kampmann Verlag, Kampen 1934
- [12] Modis, Th.: Die Berechenbarkeit der Zukunft. Birkhäuser Verlag. Basel – Boston – Berlin 1994
- [13] Oerter, R., Montada, L. (Hrg.): Entwicklungspsychologie. 4. Auflag. Psychologie Verlags Union, Weinheim 1998
- [14] Kluge: Etymologisches Wörterbuch der Deutschen Sprache, 24. Aufl. de Gruyter, Berlin 2002.
- [15] N.N.: PC-Bibliothek. 3.0. Bibliographisches Institut (CD). Brockhaus. Mannheim 2003

Für [5] und [10] s.a. die weitere Bände enthaltende CD:

H. Völz: Wissen - Erkennen - Information. Datenspeicher von der Steinzeit bis ins 21. Jahrhundert.
Digitale Bibliothek Bd. 159, Berlin 2007

Inhalt

1 Historisches	1
2. Voraussetzungen für das Erkennen	3
3 Konstruktionen von Raum und Zeit	5
4 Die Zeitrichtung	8
5 Erkennen von Zeit, insbesondere bei Kindern	10
6 Individuelles Erleben und Speichern von Zeit	11
7 Zyklische Zeit, Synchronisation, Takt und Rhythmus	14
8 Zeitmaßstäbe	18