

Speichern als Fundament der Welt

Dieses Material beruht unter anderem auf die Bücher:

Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Shaker Verlag, Aachen 2001.

Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 1 - 3. Shaker Verlag Aachen 2003, 2005, 2007.

Sie sind vollständig auf der CD enthalten:

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

Weitere Details enthalten auch die Folien auf r-h-voelz.de:

Speichern.pdf, DatenSpeichern.pdf, Raum_Zeit.pdf und SpeichernHU.pdf

Dieses Material wurde heruntergeladen von: r-h-voelz.de.

Bei privatem Gebrauch ist es voll nutzbar, bei Publikationen, Vorträgen usw. ist die Angabe der Quelle notwendig.

Bei kommerzieller Nutzung usw. ist eine Abstimmung mit mir notwendig.

Bilder sind in höherer Qualität ca. 2000×3000 Pixel oder *.cdr Version 12 verfügbar.

Email: [horst.voelz\(at\)campus.tu-berlin.de](mailto:horst.voelz(at)campus.tu-berlin.de) bzw. [h.voelz\(at\)online.de](mailto:h.voelz(at)online.de)

Prof. Dr. Horst Völz, Koppenstr. 59, 10243 Berlin, Tel./Fax 030 288 617 08

Motto

Wir alle neigen dazu, Lebensmittel, Material, Geräte, Bücher, CDs, Bilder, Informationen, Energie usw. zu sammeln, aufzubewahren und zu speichern. Ausschließlich hierfür sind größere Einrichtungen wie Museen, Bibliotheken, Archive, Galerien, Lager usw. entstanden. Daher ist uns das Speichern so selbstverständlich geworden, dass wir kaum noch darüber nachdenken. Außerdem sind Speichern und Erinnern ein tiefes menschliches Bedürfnis. Unser Gedächtnis ist vor allem ein Speicher für Information. Weiter lässt sich aber zeigen, dass es ohne Speichern vieles nicht gäbe. So wüssten wir ohne Rückerinnern nichts über die Vergangenheit und könnten daher auch nicht für die Zukunft planen. Undenkbar oder gar unmöglich wären Tabus, Verhaltensregeln, Sitten, Gebräuche und Gesetze. Wie ein Alzheimer-Kranker lebten wir nur in der Gegenwart. Im Prinzip wäre für uns nicht einmal die Zeit vorhanden. Ferner gäbe es ohne genetische Speicherung kein Leben und unsere gesamte Informationstechnik wäre völlig unbrauchbar. Deshalb wird hier untersucht, wie Speichern generell funktioniert und was seine wesentlichen Grundlagen sind.

Gliederung

1. Einführung

- 2. Stoff, Energie und Information
- 3. Evolution der Speicherung
- 4. Systematik der technischen Speicherung
- 5. Möglichkeiten und Grenzen

muss noch bearbeitet werden:

- 6. Die technisch-elektronischen Varianten
- 7. Blick in die Zukunft
- 8. Literatur, Sachwort usw.

Überblick Einführung

Gespeichert werden u. a. Stoffe, Energien und Information.

Speichern ist nur sinnvoll, damit in der **Gegenwart** etwas für die **Zukunft** aufgehoben wird.

Das setzt den **Zeitpfeil** voraus.

Meist kann etwas für die Zukunft, aber kaum etwas für die Vergangenheit **berechnet** werden.

Die **Ständigkeit** der Welt mittels Bausteinen, Konstanten und Gesetzen entspricht ihrem Gespeicherten.

Um über **Entstehen, Vergehen und Evolution** etwas zu wissen, ist Speichern erforderlich.

Fast immer verlangt Speichern **Irreversibilität** und zwar ganz im Gegensatz zu den reversiblen Naturgesetzen.

Zusätzlich müssen die Speicherzustände **hinreichend lange stabil** sein.

In der **Natur** existieren mehrere Irreversibilitäten.

Irreversibilität kann auch durch **Rückkopplung und Zusammenfügen** mehrerer reversibler Bausteine erzeugt werden.

Eine besondere Möglichkeit des Speicherns bieten **periodische Vorgänge**.

Ohne Speichern hätte die **Welt nicht entstehen können**.

Speichern ist stets **unvollständig**.

Was wird gespeichert?

Besonders wichtig sind dabei:

1. **Stoffe**, Material, Waren, Lebensmittel z. B. im Getreidespeicher, Materiallager, Gebäude, Raum oder Behältnis. Dies erfolgt **unmittelbar**: Das Objekt selbst wird gespeichert, aufgehoben, gelagert.
2. **Energien**, wird u. a. gespeichert in Federn, Schwungrädern, elektrochemischen Batterien, bzw. mittelbar als Energieträger in Treibstofftank als Benzin, in Fässern als Öl usw. Sie ist immer nur **mittelbar** gespeichert in **Energieträgern**. Zur **Gewinnung** und **Nutzung** der Energie muss ein **passendes System** (z. B. Motor) zur Verfügung stehen.
3. **Informationen** werden zumindest in zwei Varianten gespeichert:
 - als in der Zeit beständige **Zustände**, z. B. Daten, Fakten, Texte, Bilder, Formeln usw.
 - als **Abläufe in der Zeit**, z. B. für Schall, Film, Video, Prozesse, Geschehen usw.

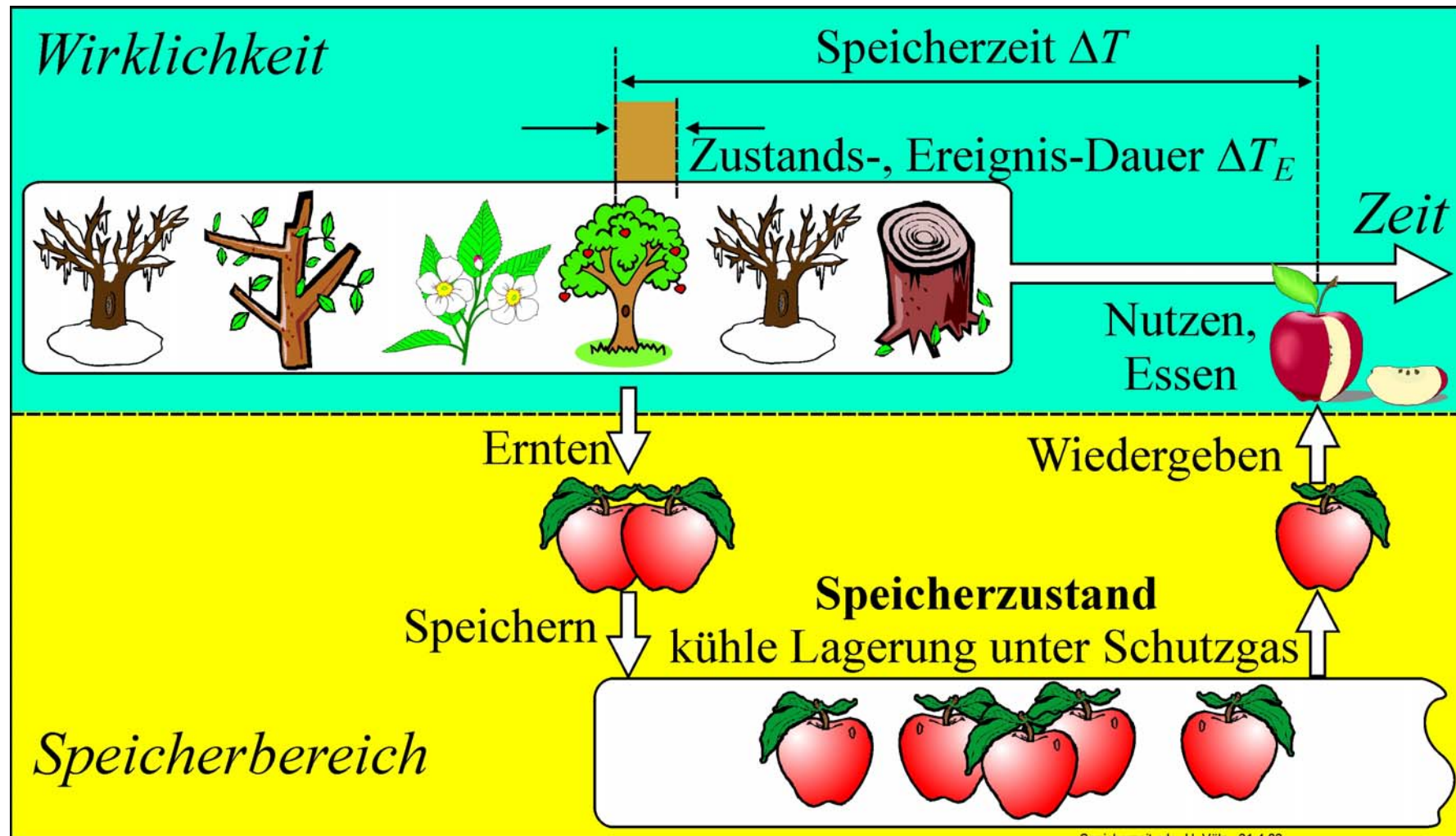
Dabei müssen unterschieden werden:

- der **Informationsträger** als das stofflich-energetische Substrat und
- das **Informat** (Getragene) als das im Empfangssystem Bewirkte.

Folglich kann die **Wiedergabe** nur **mittelbar** erfolgen; es muss das **passende System** vorhanden sein.

Zur Vereinfachung wird hier für das zu Speichernde, das Gespeicherte und das Wiedergegebene **Etwas** verwendet.

Ein einfaches Beispiel



Etymologie

Ursprünglich geht er auf das *Lateinische* **spica** die Ähre und **spicarium** das Vorratshaus zurück.

Zunächst betrifft er daher den Kornspeicher als Gebäude. Später auch Lager/Lagerung für Waren und Gegenstände.

Dann kamen technischen Einrichtungen wie Warmwasserspeicher, Speicherbecken usw. hinzu.

Erst ab den 50er Jahren wird er auch für Daten, Signale und Informationen benutzt.

Verwandt sind Andenken, Archiv(ierung), Aufzeichnung, Denkmal, Erfahrung, Erinnerung, Gedächtnis, Gedenken, Lernen, Magazin, Museum, Protokoll, Sammlung, Silo usw.

Im **Deutschen** wird Speichern sehr umfassend gebraucht. In anderen Sprachen gibt es meist feinere Unterscheidungen

Englisch: store ≈ Vorrats-, Warenhaus, storage ≈ Lager (-raum) für Geld, Waren usw. storage battery ≈ Akkumulator
amnesia, attic, cache, elevator, granary, lethe, loft, mem, memory, mention, mind, mnemonic, pantheon,
recollection, record (ing), register, reminder, reservoir, retrospection, stockpile.

Französisch: commémorative, entrepôts, grenier, mémoire, rappel, réminiscence, silos, souvenir.

Italienisch: accumulare, deposito, memoria, memorizzare, reminiscenza, ricordo, rievocazione, rimessa, soffitti.

Spanisch: acuerdo, conmemoración, desván, evocación, memoria, memorias, recordatorio, recuerdo, rememoración,
reminiscencia, retentiva.

Was ist Zeit?

Speichern erfolgt in der aktuellen Gegenwart, das Gespeicherte steht auch später zur Verfügung.

Die Zeit, genauer die gerichtete Zeit ist daher für das Speichern eine **wesentliche Grundlage**.

Doch die **Zeit** und der **Zeitpfeil** sind nicht so sicher, wie es uns die tägliche Erfahrung lehrt.

Im Gegensatz zu unserer Erfahrung (Film rückwärts!) bleiben nämlich alle physikalischen Gesetze für $t \Rightarrow -t$ voll gültig. Dennoch werden im Folgenden die anschauliche (gemessene) Zeit und die Gerichtetheit der Zeit vorausgesetzt.

Buch Prediger Salomo, 3.1:

„Ein jegliches hat seine Zeit, und alles Vorhaben unter dem Himmel hat seine Stunde: geboren werden hat seine Zeit, sterben hat seine Zeit; pflanzen hat seine Zeit, ausreißen, was gepflanzt ist, hat seine Zeit; töten hat seine Zeit, heilen hat seine Zeit; abbrechen hat seine Zeit, bauen hat seine Zeit; weinen hat seine Zeit, lachen hat seine Zeit; klagen hat seine Zeit; Tanzen hat seine Zeit; Steine wegwerfen hat seine Zeit, Steine sammeln hat seine Zeit; Herzen seine Zeit; aufhören zu Herzen hat seine Zeit, suchen hat seine Zeit, verlieren hat seine Zeit; behalten hat seine Zeit; Wegwerfen hat seine Zeit; zerreißen hat seine Zeit; zunähen hat seine Zeit; schweigen hat seine Zeit, reden hat seine Zeit, lieben hat seine Zeit, hassen hat seine Zeit; Streit hat seine Zeit, Friede hat seine Zeit. Man mühe sich ab, wie man will, so hat man keinen Gewinn davon.“

AUGUSTINUS (354 – 430, Kirchenvaters) 11. Buch der Confessiones (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.“

Ferner vertrat er den Standpunkt, dass es nur die Gegenwart gibt. In der Gegenwart ist Vergangenes als Erinnerung (memoria) und die Zukunft als Erwartung (expectio) verfügbar.

ALBERT EINSTEIN (1879 - 1955) hielt Bemühungen über die Zeit sogar für sinnlos:

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

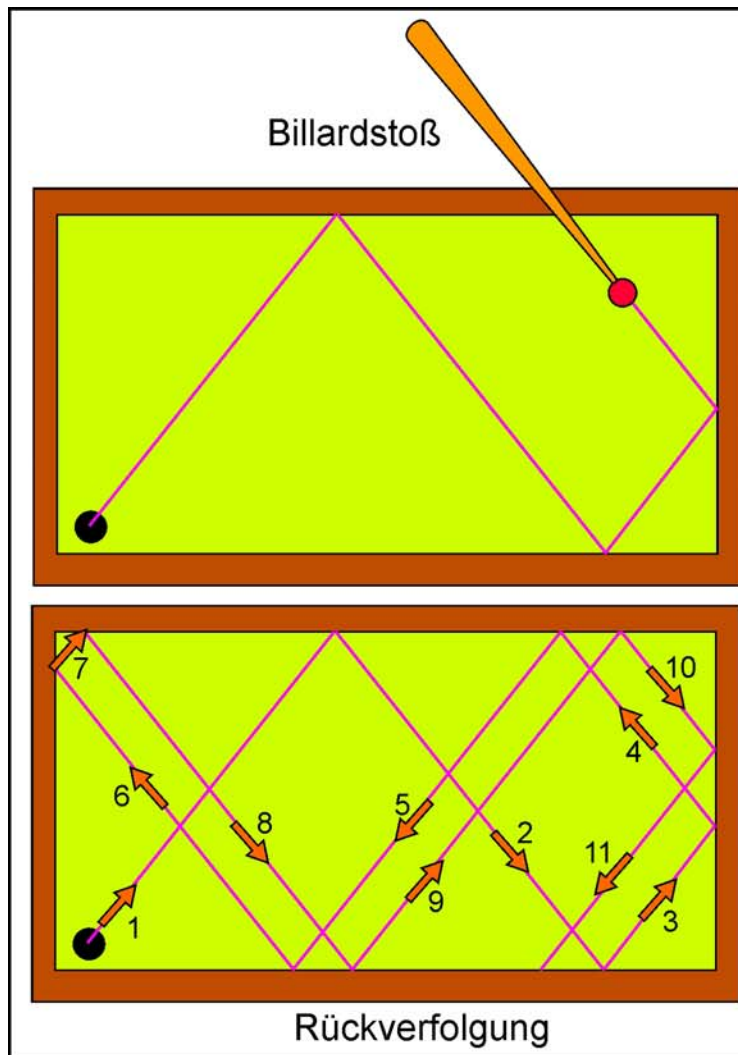
Vergangenheit

Sie steht nach allgemeiner Auffassung steht **unabänderlich** fest.

Dennoch muss sie uns **nicht bekannt** sein. Vielmehr muss sie meist erst ergründet werden.

Dazu gibt es nur vier **Wege, Methoden**:

1. Aus der Vergangenheit liegt passend **Gespeichertes** vor.
2. Aus **gespeicherten Spuren, Fragmenten** usw. erfolgt eine, oft sehr **aufwändige Rekonstruktion**. Besonders ausgeprägt ist das in der Archäologie, Kriminalistik und z. T. Geologie und Geschichte.
3. Infolge der **Laufzeit von Signalen** kommen Geschehnisse der Vergangenheit von fernen Orten verspätet zu uns. Das gilt insbesondere für Licht und Schall und ist hauptsächlich für die Astronomie wichtig. Hiermit ist jedoch nur die Vergangenheit ferner Orte erreichbar. Es ist dabei nicht möglich, neuere und schon gar nicht gegenwärtige Fakten zu erhalten. Diese Signale betreffen den „damaligen dortigen“ und existieren hier nur zum aktuellen Zeit-Ort-Punkt. Zur (mehrfachen) Auswertung ist eine (technische) Speicherung über einen längeren Zeitraum erforderlich.
4. Aus bereits **vorhandenen Daten** usw. erfolgt mittels Naturgesetzen eine (mathematische) **Rückrechnung**. Sie führt aber nur **selten zum Erfolg**, und zwar ganz im Gegensatz zu den üblichen Berechnungen für die Zukunft.



Beim **Billard** kann mit einer Rückrechnung aus Geschwindigkeit und Richtung bei „1“ nicht der Ort des Stoßes bestimmt werden.

Bei einer Stellung im **Schachspiel** können wir Vorrausagen über den nächsten Zug machen, aber kaum Aussagen über den letzten Zug.

Zukunft

Sie ist im Gegensatz zur Vergangenheit prinzipiell **offen**.

Einige **Methoden** gestatten es uns aber, sie recht **brauchbar voraus zu bestimmen**.

Insbesondere ermöglichen sie **geplante Handlungen**, um ausgewählte **Ziele zu erreichen**.

Hierfür sind drei Varianten zu beachten:

1. In den Naturgesetzen gibt es viele **kausale (deterministische) Zusammenhänge**.
2. In anderen Fällen lassen sich Erwartungen durch **gemittelte Wahrscheinlichkeiten** ausdrücken, dies ist u. a. bezüglich des Risikos und für Versicherungen sehr wichtig.
3. Leider existiert aber auch **absoluter Zufall** gemäß der Quantentheorie.
Zusätzlich wirken sich unübersehbare Wechselwirkungen und Ursachen entsprechend aus.
Dennoch ermöglichen Zusammenfassung und Mittelwertbildung für 1. und 2. brauchbare Ergebnisse.

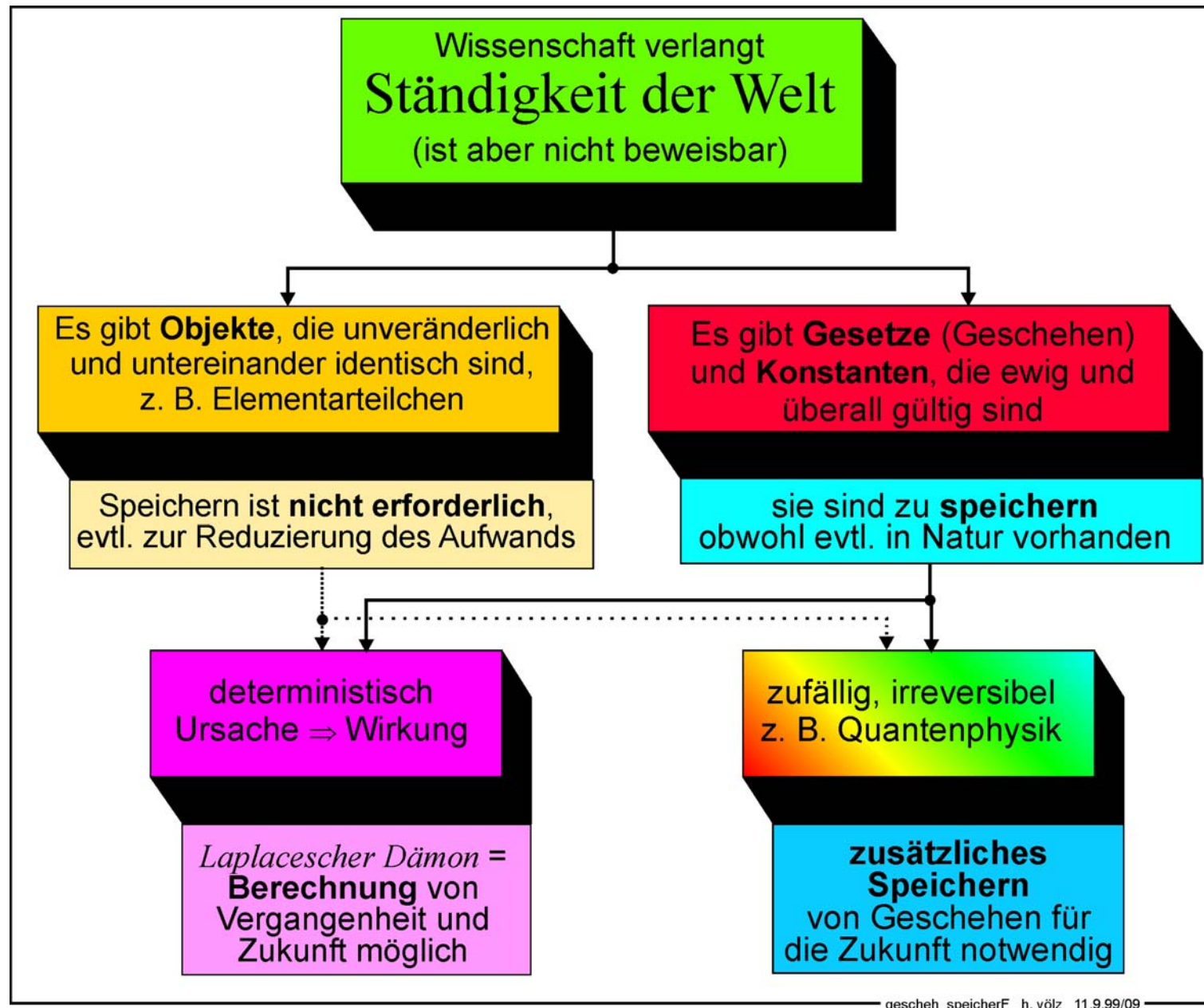
Voraussagen sollen für uns die Zukunft sicherer, teilweise sogar beherrschbar machen.

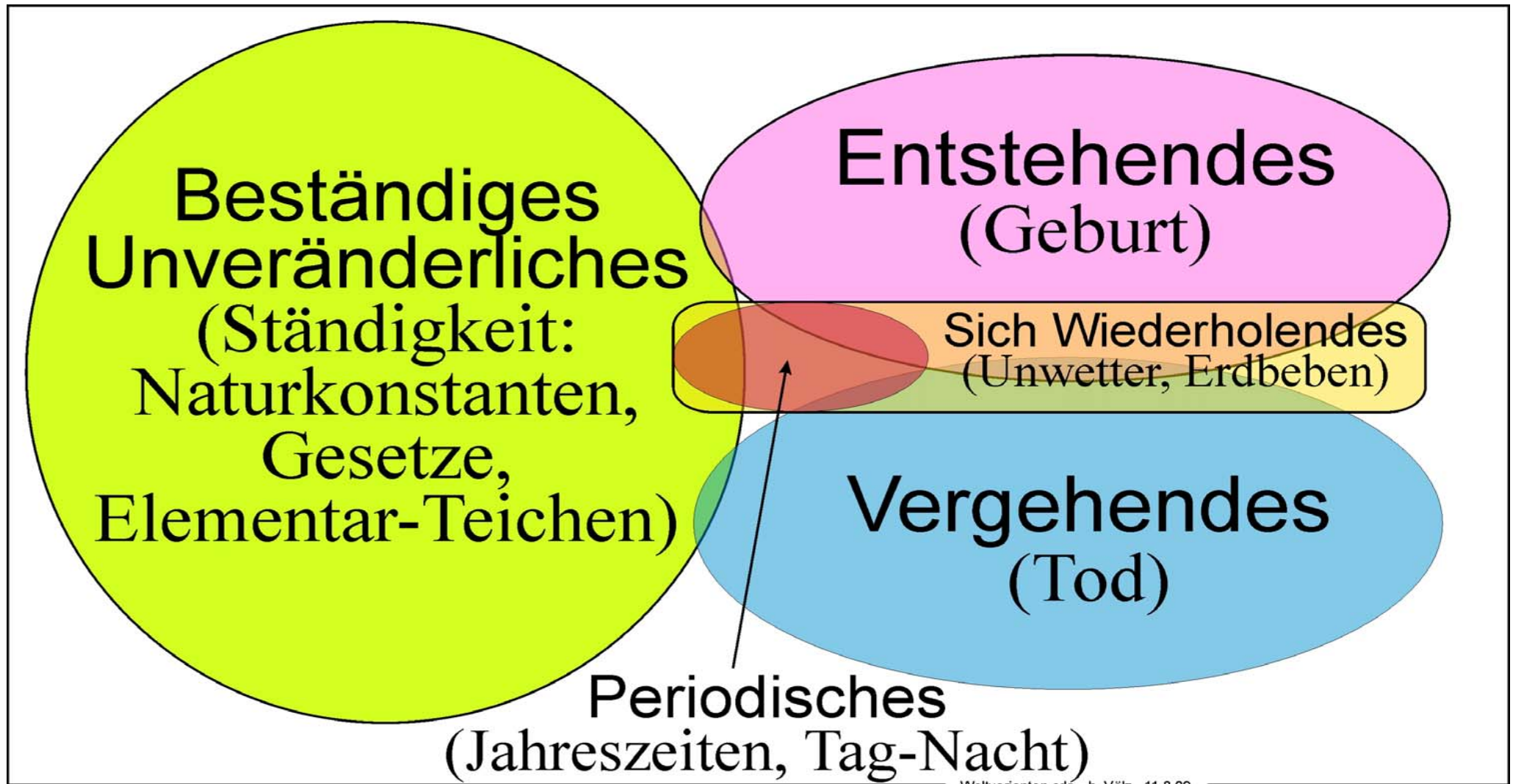
Sie benutzen immer **gespeicherte Erfahrungen** der Vergangenheit.

Voraussetzungen für Speichern

1. Ein **gerichteter Zeitablauf**, der aber nicht (unmittelbar) aus den Naturgesetzen folgt (s. o.).
Als Beleg für den Zeitablauf können die Thermodynamik und z. T. die Quantenphysik gelten.
2. Eine zeitliche **Veränderung der Welt**, denn ohne sie wäre ja keine Speicherung erforderlich.
Ohne sie wäre auch kein Zeitablauf feststellbar oder gar möglich.
Dagegen muss jede Wissenschaft von einer gewissen, **nicht beweisbaren Ständigkeit** ausgehen.
Daher sind **ewige, überall gültige Gesetze** besonders wichtig und typisch.
Ferner gehören dazu die **Naturkonstanten** und **identische Teilchen**, wie Quarks, Elektronen, Protonen usw.
3. Weiter muss es **irreversible Veränderungen**, u. a. **Werden, Entstehen** und **Vergehen** geben.
Denn nur sie können die für eine Speicherung beständigen Fakten hinterlassen.
Sie stehen aber im deutlichen Gegensatz zu den Gesetzen der klassischen Physik.
Alle bleiben nämlich für $t \Rightarrow -t$ voll gültig, sind also voll **reversibel**.
Es ist sehr schwierig zu erklären, **wie, wann** und **wo Irreversibilität entsteht** (s. Sonderbeitrag).
Es gibt auch **zeitlich begrenzte Irreversibilität**, z. B. bei **Metastabilität** und MAXWELL-Geschwindigkeits-Verteilung.
4. Vom Entstehenden muss Einiges über eine **hinreichend lange Zeit beständig** bleiben.
5. **Wiederholungen** nehmen eine Zwischenstellung bezüglich 2. und 3. ein.
Sie können als **gespeicherte Vorgänge** im Sinne der Ständigkeit und des Bestehenden angesehen werden.
Das wird besonders deutlich, wenn sie **streng periodisch** ablaufen, wie z. B. die Planetenbewegungen (s. u.).

Lateinisch **ir-** un-, nicht + **vertere** kehren, wenden, drehen, **revertere** umkehren, zurückkehren, sich wenden an





Weltvarianten.cdr h. Völz 11.8.09

Exkurs Planetenbewegung

Ein Planet der Masse m bewege sich kreisförmig im Abstand r mit der Geschwindigkeit v um eine Zentralmasse M . Mit der Gravitationskonstante $G = 6,67 \dots 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$ gilt für die Anziehungskraft beider Massen

$$F_{\text{Anz}} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}.$$

Ihr entgegen gerichtet ist die Zentrifugalkraft

$$Z_{\text{Flieh}} = m \cdot \frac{v^2}{r}.$$

Auf der Kreisbahn müssen sich beide Kräfte aufheben. Das ergibt

$$v^2 \cdot r = G \cdot M.$$

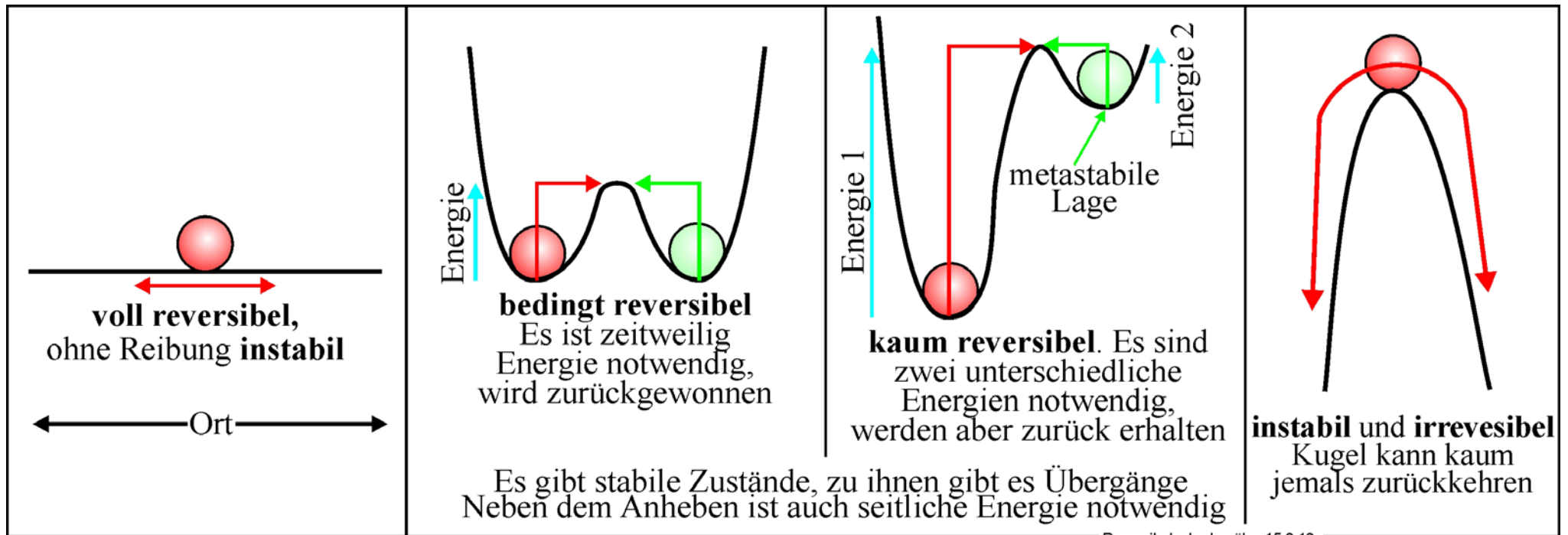
Alle kreisförmigen Planetenbahnen sind folglich eine Speicherung der Gravitationskonstanten G . Ein weiterer Ausdruck wird mit der Umlaufzeit erhalten:

$$t_{\text{Uml}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{v} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{r^3}{G \cdot M}}.$$

So entspricht jede Umlaufzeit t_{Uml} und jeder dazugehöriger Radius r einem gespeicherten Wert des Systems.

Modelle zur Reversibilität

Sie gelten mechanisch für Berge und Täler bzw. für Energie-Niveaus.
Und hängen mit der „Stabilität“ der jeweiligen Lage zusammen.



Reversibel.cdr h. vözl 15.2.12

Beispiele elektronischer Schaltungen

Einfache binäre Schaltungen sind **YES** (= on) und **NOT** (= off).

Hierbei bewirkt z. B. das Drücken einer Taste das Ein- bzw. Ausschalten einer Lampe.

Dieses Verhalten ist voll reversibel und deterministisches.

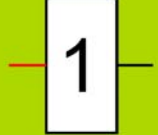
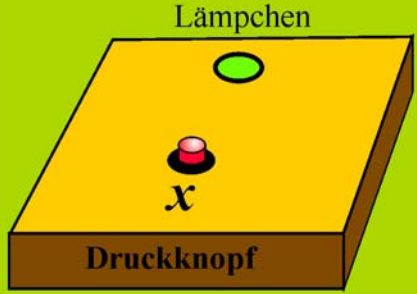
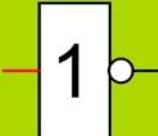
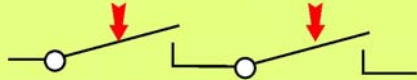
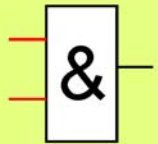
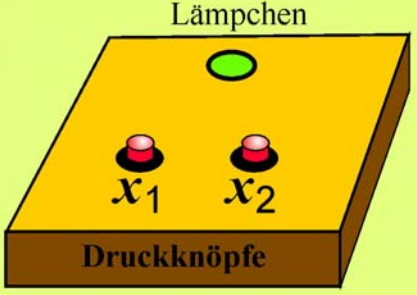
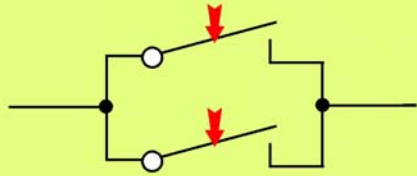
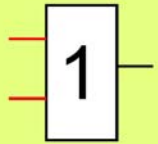
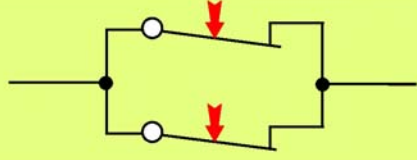
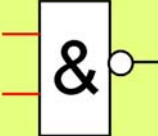
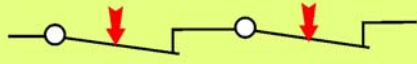
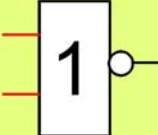
Bei Loslassen der Taste liegt wieder der Ausgangszustand vor.

Bei der binären Logik bewirkt die Kombination mehrerer Eingangssignale das Ein-Ausschalten.

Die Schaltungen heißen **kombinatorische** oder **binäre Schaltungen** bzw. Zuordner, Codierer oder Schaltwerke.

Auch bezüglich aller Eingangssignale ist das Ausgangssignal voll **reversibel** und **deterministisch**.

Von den 16 möglichen Schaltungen mit 2 Eingängen sind im folgenden Bild nur die vier wichtigsten dargestellt.

kombinatorische Schaltungen voll reversibel				
YES (on)			leuchtet = ein	
NOT (off)			geht aus	
AND			bei beiden ein	
OR			bei einer oder beiden ein	
NAND			bei beiden aus	
NOR			bei einer oder beiden aus	

Kombination.odr h. völz 16.8.05/2012

Rückkopplung führt zu Irreversibilität

Eine OR-Schaltung mit Rückkopplung verhält sich völlig anders.

Liegt an dem freien Eingang x eine **0**, so entsteht sie auch am Ausgang und die Lampe leuchtet nicht.

Tritt jedoch am Eingang eine **1** auf, so leuchtet die Lampe.

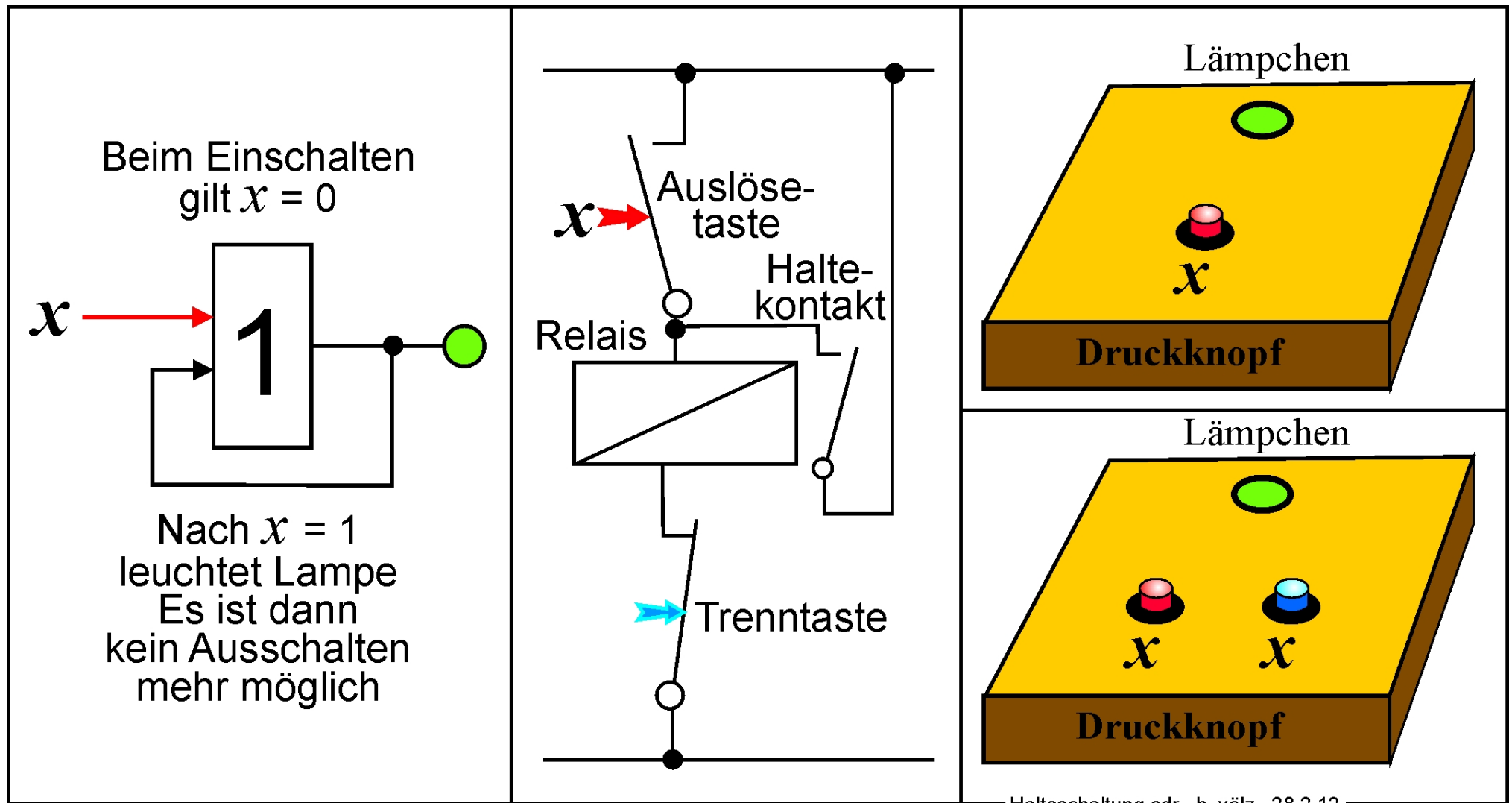
Dann tritt aber auch am Ausgang die **1** auf. Dadurch ist dieser Zustand nicht mehr von x her zu verändern.

Der Zustand **1** ist *durch die Rückkopplung irreversibel* geworden.

Die Schaltung verhält sich bezüglich des Eingangs x *nicht mehr deterministisch*.

Auch die *Halteschaltung* bei einem Relais verhält sich genauso.

Hier ist dann aber oft, eine zusätzliche *Trenntaste* zum Unterbrechen und Rücksetzen vorhanden



Übergang zum Flip-Flop

Eine Zusammenschaltung von zwei NOR- oder NAND-Elementen führt zum Flip-Flop.

Die Rückkopplung ist hier doppelt vorhanden.

Mit zwei Eingängen $S = x_1$ und $R = x_2$ ergeben sich mehr Möglichkeiten (Set, Reset).

Das Flip-Flop wird mit jedem **Eingangssignal** (deterministisch) in einen **definierten Zustand** geführt.

Der ist **unabhängig davon**, welcher Zustand vorher vorhanden war. Die (Vor-) Vergangenheit ist unbestimmt.

Nach dem Betätigen von x_1 leuchtet immer das grüne und nach x_2 immer das rote Lämpchen.

Damit entspricht das Flip-Flop einer **1-Bit-Speicherzelle**: Nur der letzte Tastendruck bleibt gespeichert.

Bezüglich der Eingangssignale ist das Flip-Flop aber **nicht mehr reversibel**:

Das Loslassen der Taste hat keine Auswirkung!

Damit ein Flip-Flop **fehlerfrei** arbeitet, benötigen seine (aktiven) Bauelemente eine **Verstärkung ≥ 1** .

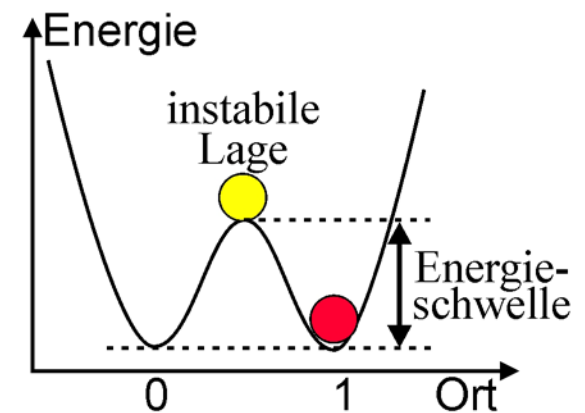
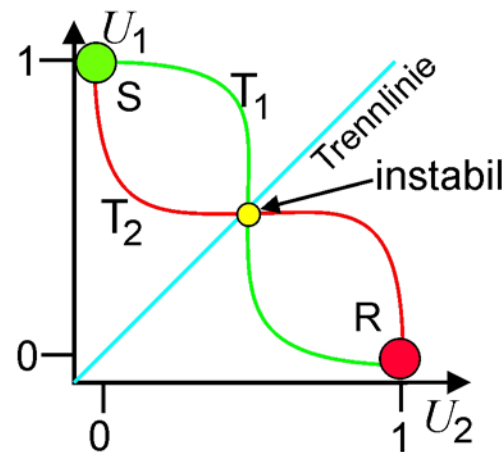
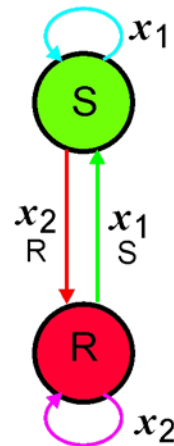
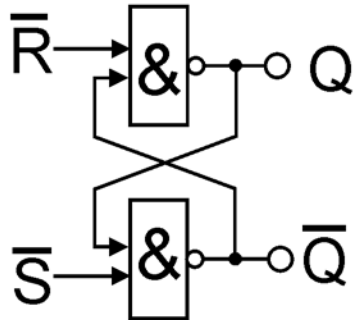
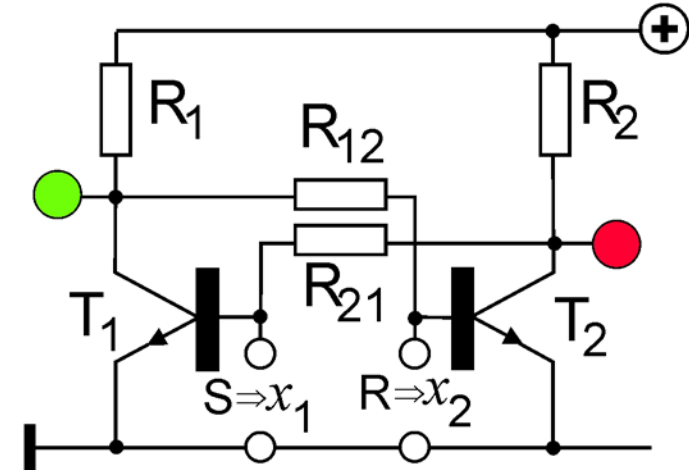
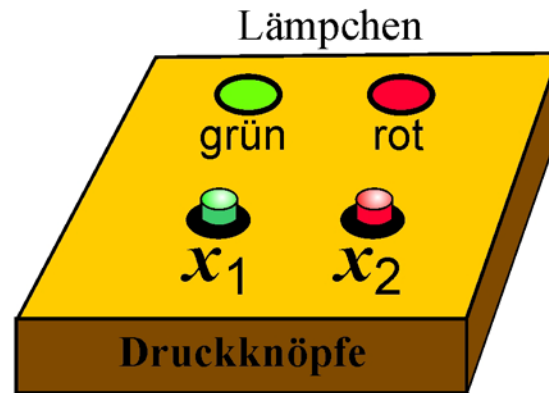
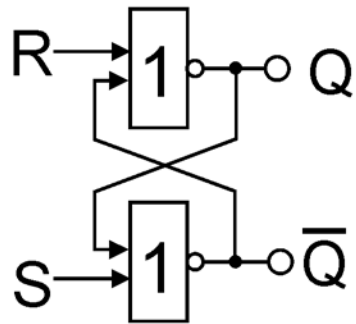
Das zeigt noch deutlicher der Aufbau mit (analogen) Transistoren und Widerständen.

Das Verhalten des Flip-Flop beim **Anlegen der** Betriebsspannung ist beim voll symmetrischen Aufbau rein zufällig.

Durch **unsymmetrische** Ausführung – Transistoren oder Widerstände – kann eine Vorzugstellung erreicht werden.

Flip-Flop

(bedingt) irreversibel



Automat3.cdr H. Völz 1.1.12

Erweiterung zu einem MOORE-Automaten

Die Black-Box kann auch **extern** durch 3 **Tasten** und 3 **Lämpchen**, sowie **intern** durch **zwei Flip-Flop** deutlich komplizierter aufgebaut sein.

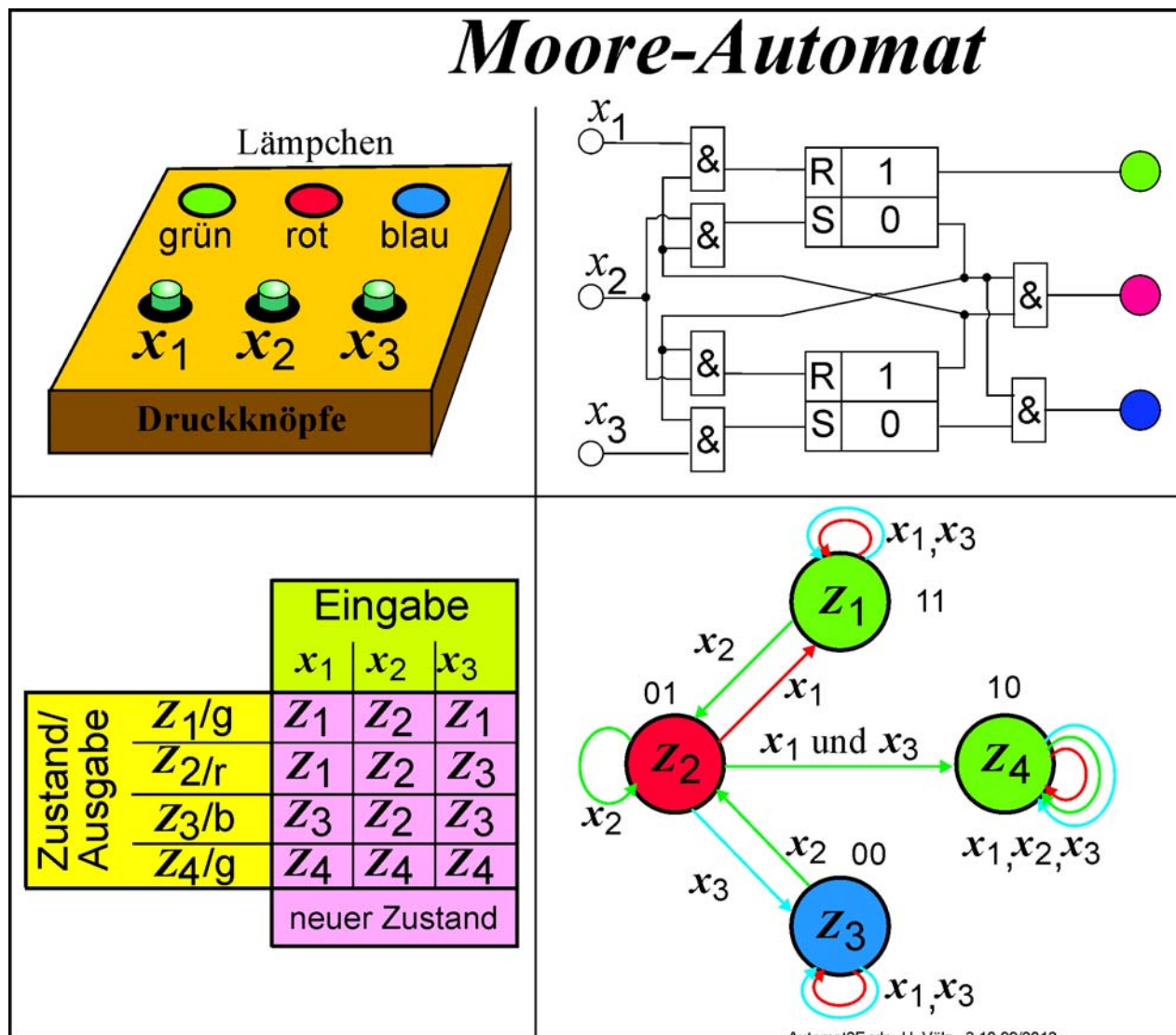
Dabei ist ein echt **irreversibles** Verhalten zu erreichen.

Nach einer betätigten Tasten leuchtet immer eine Lampe.

Doch jetzt geht teilweise die Vorgeschichte, **Vergangenheit** ein:

- Nach x_2 leuchtet immer rot ($\rightarrow Z_2$).
- Nach x_1 oder x_3 kann – je nach Vorgeschichte (Z_1 bis Z_3) – grün bzw. blau leuchten.

Wird aber gleichzeitig x_1 und x_2 gedrückt, so ist es nicht mehr möglich, das Grün (Z_4) zu verändern.
Es bleibt **voll irreversibel** erhalten!



Andere Irreversibilitäten

In der Natur treten mehrere Irreversibilitäten auf, u. a, wenn **gerichtete Energie** in viele Richtungen **zerstreut** wird. Einige von ihnen, z. B. die Reibung sind ungenügend theoretisch geklärt:

1. **Reibung:** Eine gerichtete mechanische Bewegung verliert durch sie fortlaufend an Energie. Der Verlust wird unumkehrbar in Wärme als ungerichtete Bewegung umgewandelt.
2. **Elektrische Verluste,** Sie entstehen u. a. bei Stromleitung durch Widerstände und beruhen dann auf viele ungerichtete Stöße zwischen den Elektronen. Wenn diese Wechselwirkung entfällt – z. B. bei Nanoröhrchen und Supraleitung – treten keine Verluste auf.
3. **Lichtstreuung.**
4. **Wärmeleitung und -Strahlung.**
5. **Vermischung von Gasen und Flüssigkeiten,** sowie z. T. von **Stoffen**, u. a. auch **Diffusion.**
6. **Ausdehnung von Gasen.**
7. **Explosionen, Zerstörungen usw.**

Alle diese Prozesse **sind makroskopisch** und betreffen daher gleichzeitig viele Teilchen.

Folglich sind sie deutlich **komplexer** als die obigen Beispiele per Rückkopplung und einfacher Wechselwirkung. Die Prozesse 1 bis 4 sind für eine **Speicherung ungeeignet**; bei den anderen ist es höchstens der **Endzustand**.

Weniger verständlich sind die Irreversibilitäten bei **Quantenprozessen**. Sie hängen eventuell mit den vielen möglichen Folgezuständen zusammen, von denen u. a. makroskopisch einer völlig zufällig ausgewählt wird. Ziemlich **unklar** ist, ob hier **Speicherung** möglich ist, sehr **unwahrscheinlich** ist aber ein **Kopieren** des Zustandes.

1. Schlussfolgerung

**Zusammenschaltungen und Rückkopplungen ermöglichen es,
dass aus voll reversiblen Strukturen usw. irreversible entstehen.**

Dieses Zusammenwirken wurde oben absichtlich **technisch** (elektronisch) realisiert.

Es kann aber auch rein **zufällig in der Natur** erfolgen, u. a. bei thermodynamischen und Quanten-Prozessen.

Dazu müssen nur **genügend „Bauelemente“** über eine **hinreichend lange Zeit** zur Verfügung stehen.

Die in den Grundgesetzen **voll reversible Natur** besitzt so u. a. die **Möglichkeit** der **irreversiblen Speicherung**.

2. Schlussfolgerung

Die *Möglichkeit* der Natur zum Speichern bedingt *nicht* automatisch deren *Notwendigkeit*.

Jedoch bei jeder *Entwicklung* und *Evolution* der Welt muss Irreversibilität **und** Speichern auftreten.

Ohne Speichern hätte unsere Welt nie entstehen können.

Sie muss als *vom Anbeginn* der Welt vorhanden sein und führt dann zu *immer komplexeren Strukturen*.

Im Sinne von DARWIN ist Irreversibilität daher offensichtlich „*fitter*“ als Reversibilität.

Es könnte sein, dass auch die *Ständigkeit* in der Welt hierauf zurück zu führen ist.

Dazu wäre zu klären, *wo und wie* die Naturkonstanten, allgemeinen Gesetze usw. gespeichert sind!

Im übertragenen Sinn *hebt das Gespeicherte den Zeitablauf* auf, beseitigt quasi die ablaufende Zeit.

3. Schlussfolgerung

Bei den Veränderungen der Welt ist Speichern *nur eine Möglichkeit*.
Sehr viele Änderungen erfolgen reversibel oder ohne Speichen. Daher gilt:

Speichern ist bezüglich der Vergangenheit immer unvollständig!

Es werden nur „Ausschnitte“ gespeichert. Daher bedarf das Gespeicherte stets *einer Interpretation*.
Besonders deutliche Beispiele sind die Spurenauswertung in der *Archäologie* und *Kriminalistik*.



Gliederung

1. Einführung

2. Stoff, Energie und Information

3. Evolution der Speicherung

4. Systematik der technischen Speicherung

5. Möglichkeiten und Grenzen

muss noch bearbeitet werden:

6. Die technisch-elektronischen Varianten

7. Blick in die Zukunft

8. Literatur, Sachwort usw.

Überblick zu Stoff, Energie und Information

Mit der ***Kybernetik*** wurden die drei Weltmodelle: Stoff, Energie und Information eingeführt.

Sie müssen daher definiert werden.

Energie entsteht aus einem Energieträger über das passende Modell.

Information besteht ähnlich aus dem ***Informationsträger*** und dem ***Informat***.

Das Informat bewirkt der Informationsträger mit dem ***passenden System***.

Unser ***gegenseitiges Verstehen*** setzt gleichartige Sozialisierung und gleichen Zeichnvorrat voraus.

Drei wichtige Weltmodelle

Eingangs sind Stoff, Energie und Information nur intuitiv vorausgesetzt.

Bezüglich der Speicherung ist eine Vertiefung über die Kybernetik nützlich.

Die Kybernetik wurde 1943 von NORBERT WIENER (1894 - 1964) auf einer Konferenz als neue Wissenschaft eingeführt.

1948 erschien sein Buch: „Kybernetik - Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine“

Darin gibt es u. a. die Aussage, die auch als Definition gelten kann:

Information is information nor matter or energy

Die mangelhafte Übersetzung von „**matter**“ wählte Materie, anstatt Stoff, Material, Angelegenheit, Sache.

Im Kalten Krieg entstanden so über das philosophische Verhältnis **Materie** $\Leftrightarrow$ **Bewusstsein** viele Probleme.

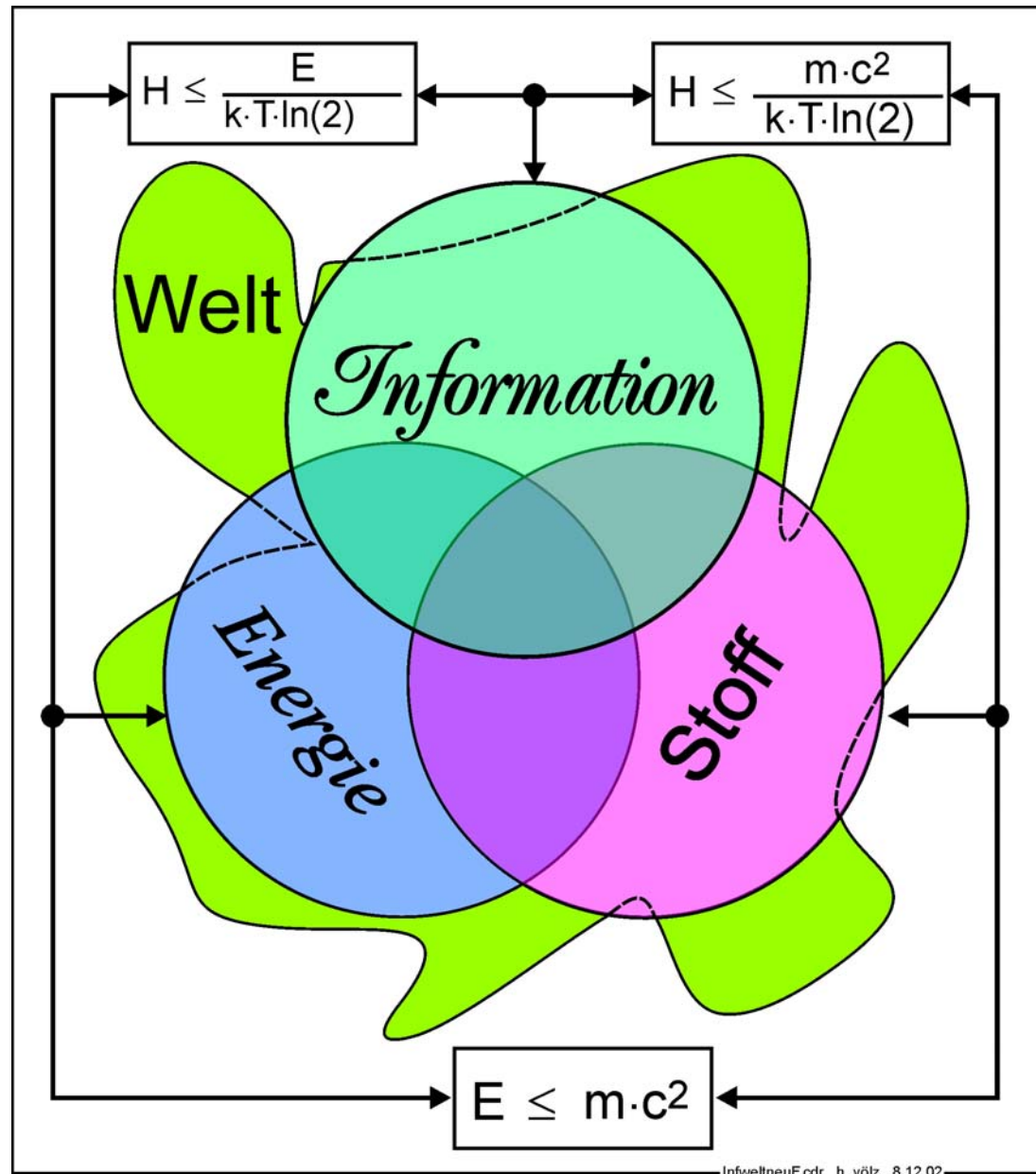
Richtiger wäre die Übersetzung „Information ist Information weder Stoff noch Energie“.

Unter Berücksichtigung des Kontextes ergibt sich inhaltlich noch besser:

Information ist ein neuartiges Modell der Welt neben Stoff und Energie

Natürlich gibt es weitere Modelle z. B. biologische, medizinische, künstlerische und geschichtliche.

Alle diese Modelle beschreiben ausgewählte Ausschnitte der Welt.



Zum Stoff

Definition

- Er ist **primär** und **statisch** gegeben, also in vorwiegend unveränderlich.
- Er ist meist unmittelbar **sinnlich wahrnehmbar**, erfahrbar.
- Er besitzt vorwiegend **physikalisch-chemische Eigenschaften**, wie Gestalt, Masse, Härte, Ausdehnung, Farbe, Temperatur usw.
- Er existiert in den **Aggregatzuständen** fest, flüssig, gasförmig.
- Er ist **teilbar**, zumindest bis zu den Molekülen und Atomen.
- Er ist eine wesentliche (**Modell-**) **Grundlage der Chemie**.
- Durch Zusammenwirken mehrerer Stoffe (**chemische Reaktion**) können neue Stoffe entstehen (Stoffwandlung).

Speichern

Speichern von Stoff kann auf unterschiedliche Weise erfolgen:

- Wenn er **fest** ist als Festkörper, Kristall, Partikel, Abscheidung, Sediment, Gegenstand usw.
- Wenn er **fest, flüssig oder gasförmig** ist in Umhüllungen, Verpackungen, Gefäßen, Räumen usw.

Zur Energie

Definition

- ist **primär dynamisch**, **wirkt** auf Stoffe **ein** und bewirkt dort etwas.
- kann **Bewegung** der Stoffe **hervorrufen**.
- kann die **Eigenschaften** der Stoffe **verändern**, z. B. ihre Form/Gestalt, Eis auftauen, Temperatur erhöhen.
- ist die wesentliche (Modell-) **Grundlage der Physik**.
- wird aus **Energieträgern** mittels **spezieller Systeme erzeugt**, das erfolgt fast immer durch Stoffumwandlung.
- kann gespeichert werden, z. B. in Akkumulatoren, über/in Feldern (potentielle Energie).

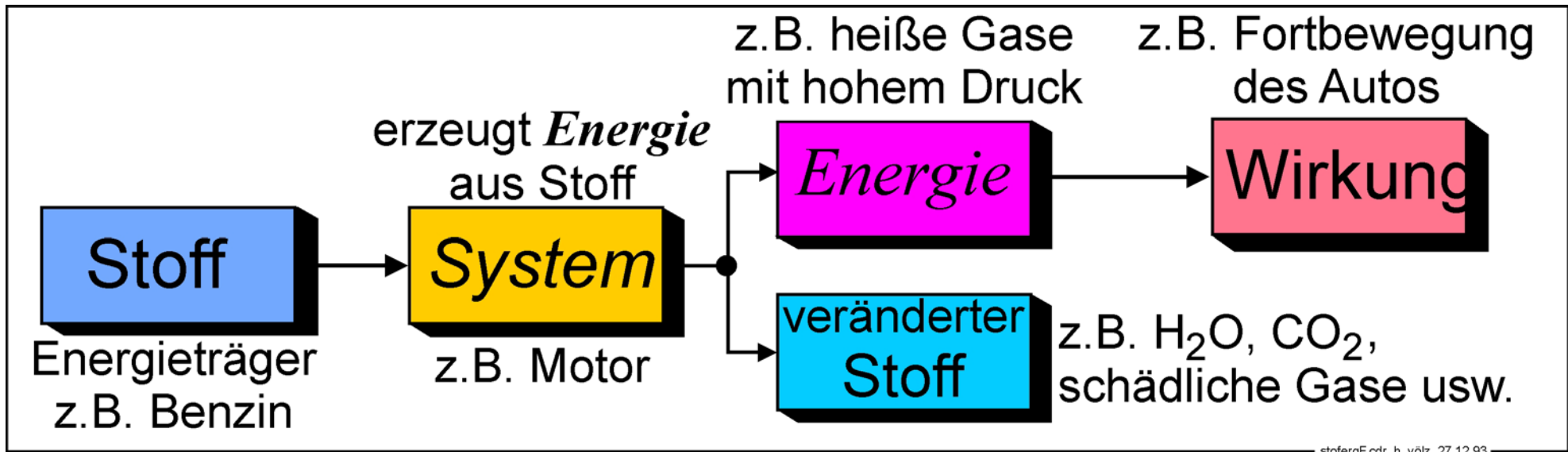
Ein fehlgeschlagener **Versuch Physik ohne Energie** zu beschreiben ist:

Hertz, H.: Die Prinzipien der Mechanik, im neuen Zusammenhang dargestellt. Leipzig 1894. Neu in Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 263. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1984.

Speichern

- erfolgt in Form **Energieträgern** = spezielle Stoffe, z. B.:
- **elektrisch** in Kondensatoren.
- **chemisch** in Batterien und Akkus.
- **dynamisch** in Federn, Schwungrädern.
- gegenüber der **Schwerkraft** durch Anheben, z. B. Stausee.

Wichtig!: Energie wird aus den Energieträgern nur durch spezielle, gut angepasste System gewonnen.
Musterbeispiele sind der Verbrennungsmotor für Benzin und der Elektromotor.



Zur Information

Es ist schwer zu erklären oder gar zu definieren, was Information eigentlich ist.

Recht klar umrissen ist dagegen der **Informationsträger**; vgl. $\Rightarrow$ Energieträger!

Er ist ein stofflich energetisches Substrat, das irgendwie mit der Information zusammenhängt.

U. a. kann das elektrischer Strom, Schall, bedrucktes Papier oder das Papierbild einer Photographie sein.

In der Fachliteratur existieren meist ***zwei typische Aussagen***.

1. Information ***besitzt*** einen Träger.
2. Information ***wechselt*** leicht und oft den Träger.

Meist stehen beide Aussagen dicht beieinander, zuweilen unmittelbar aufeinander folgend im gleichen Satz.

In beiden Aussagen bedeutet aber Information ***jeweils etwas anderes***, nämlich:

In 1. gehört der Informationsträger zur Information; in 2. dagegen nicht.

Dennoch werden fast immer im folgenden Text beide Informationen als gleich angenommen.

So ergeben sich schnell Zirkelschlüsse und Widersprüche.

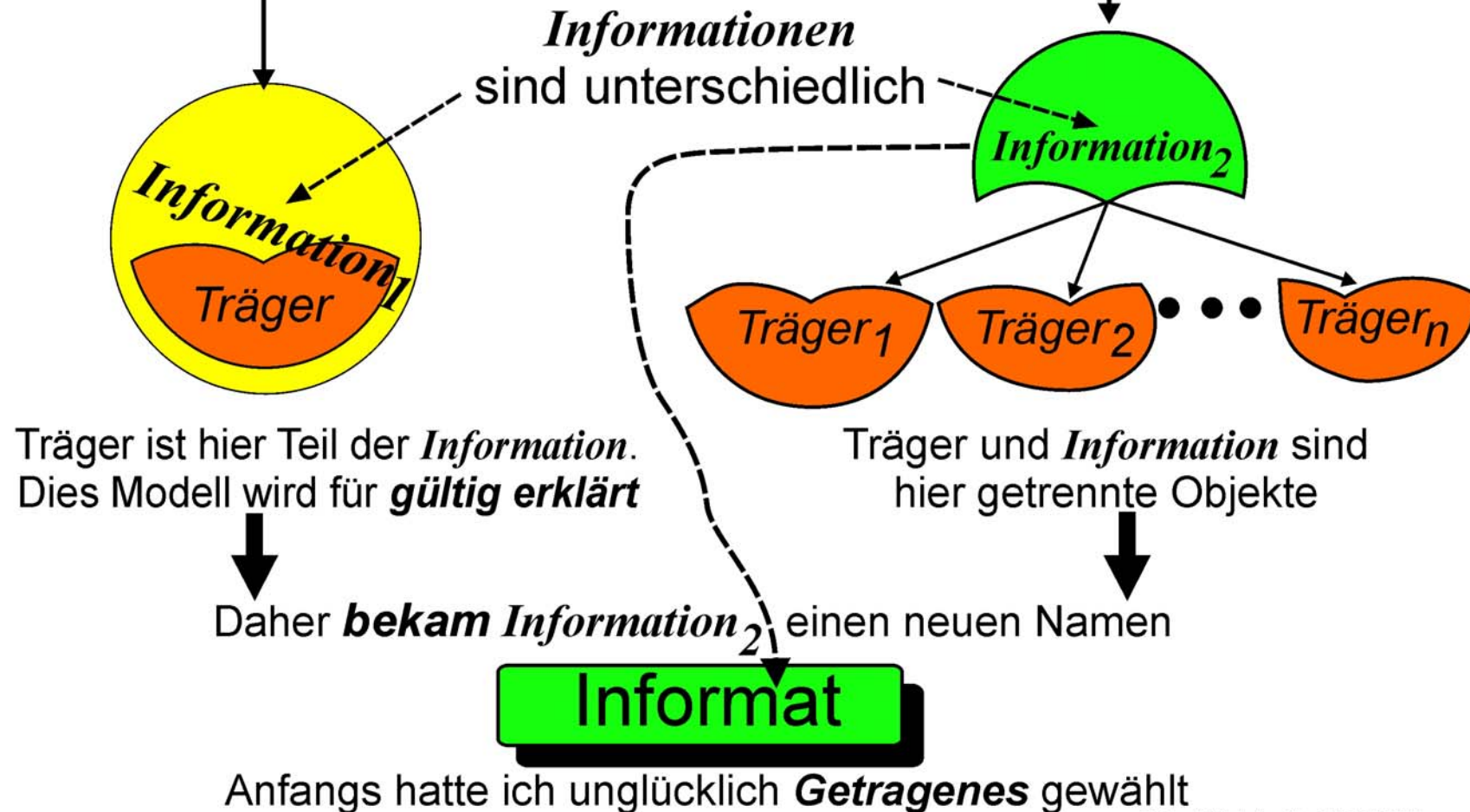
Um sie zu vermeiden mussten neue Benennungen eingeführt werden.

Information₁ und Information₂ ist wie andere Beispiele (z. B: Semiotik) zeigen, wenig glücklich.

Den hier gewählten Weg zeigt das folgende Bild.

Zwei Varianten zur *Information* sind gleichzeitig in der Literatur vorhanden

Information besitzt einen Träger $\neq$ **Information wechselt den Träger**



St_En_infH.cdr h. vözl 25.3.98/02/03

Wirkungen der Information

Ähnlich wie ein Energieträger muss ein **Informationsträger in oder mittels Systemen Wirkungen** hervorrufen. Nur so **entsteht das Informat**.

Folglich besitzen Information und Informat keinen Selbstzweck; sie existieren nicht unabhängig von der Welt.

Speichern kann man nur der Informationsträger und das zu ihm passende System, aber **nicht das Informat**!

Eine **Schallplatterille** ist nur der gespeicherte **Informationsträger** und nicht die Information bzw. das Informat!



Exkurs Musikinterpretation

Diese Schallplatte ist ein Mitschnitt von 1946 aus dem Admiralspalast in Berlin.

Sie „enthält“ L. VAN BEETHOVENS Sinfonie Nr. 5, dirigiert von WILHELM FURTWÄNGLER (1886 - 1954).

Er war nie Mitglied der NSDAP, durch persönlichen Einsatz rettete er u. a. mehr als 200 Juden das Leben.

Diese Aufnahme ist sein erstes Dirigat nach seiner Entnazifizierung als „Mitläufer“.

FURTWÄNGLER wollte so das Wiedererwachen des demokratischen Lebens in Deutschland unterstützen.

Denn die drei typischen Klopftöne bedeuten das Pochen des Schicksals.

Sie waren auch das Pausenzeichen des Londoner Rundfunks, auf dessen Hören damals die Todesstrafe stand.

Außerdem steht die römische „V“ für **Vergeltung** und **Victory** (wir siegen).

Unter Musik-Kennern gilt diese Aufnahme als **die authentische** Interpretation der V.

Wo ist aber das entsprechend große Erlebnis gespeichert? Etwa auf der Platte, in der verbogenen Rille?

Jedoch nicht jeder kann es empfinden, wohl kaum ein kleines Kind oder jemand, der nichts von *Beethoven* kennt?

Für das große Erlebnis ist offensichtlich viel **Musik-Erfahrung** des Hörers notwendig.

Sie ist eine **erworbene Eigenschaft** des Einzelnen, also in ihm – als Empfangssystem – vorhanden.

Aus ähnlichen Gründen verstehen wir keine uns fremden Sprachen und haben Probleme mit gewissen Kunstwerken.

Wir können nur jene Informationsträger interpretieren, zu denen wir die spezifischen Kenntnisse besitzen.

Informat als Interpretation

Das Verhältnis von Träger und Informat kann durch die „*misleading words*“ vertieft werden.

In unterschiedlichen Sprachen haben gleichklingende Wörter recht verschiedene Inhalte.

Sie können bei **Übersetzungen** zu Fehlern führen. Zwei typische Beispiele sind:

still im Deutschen *leise*, ruhig im Englische *noch*; **Gift** = schädlicher Stoff, **gift** = Geschenk.

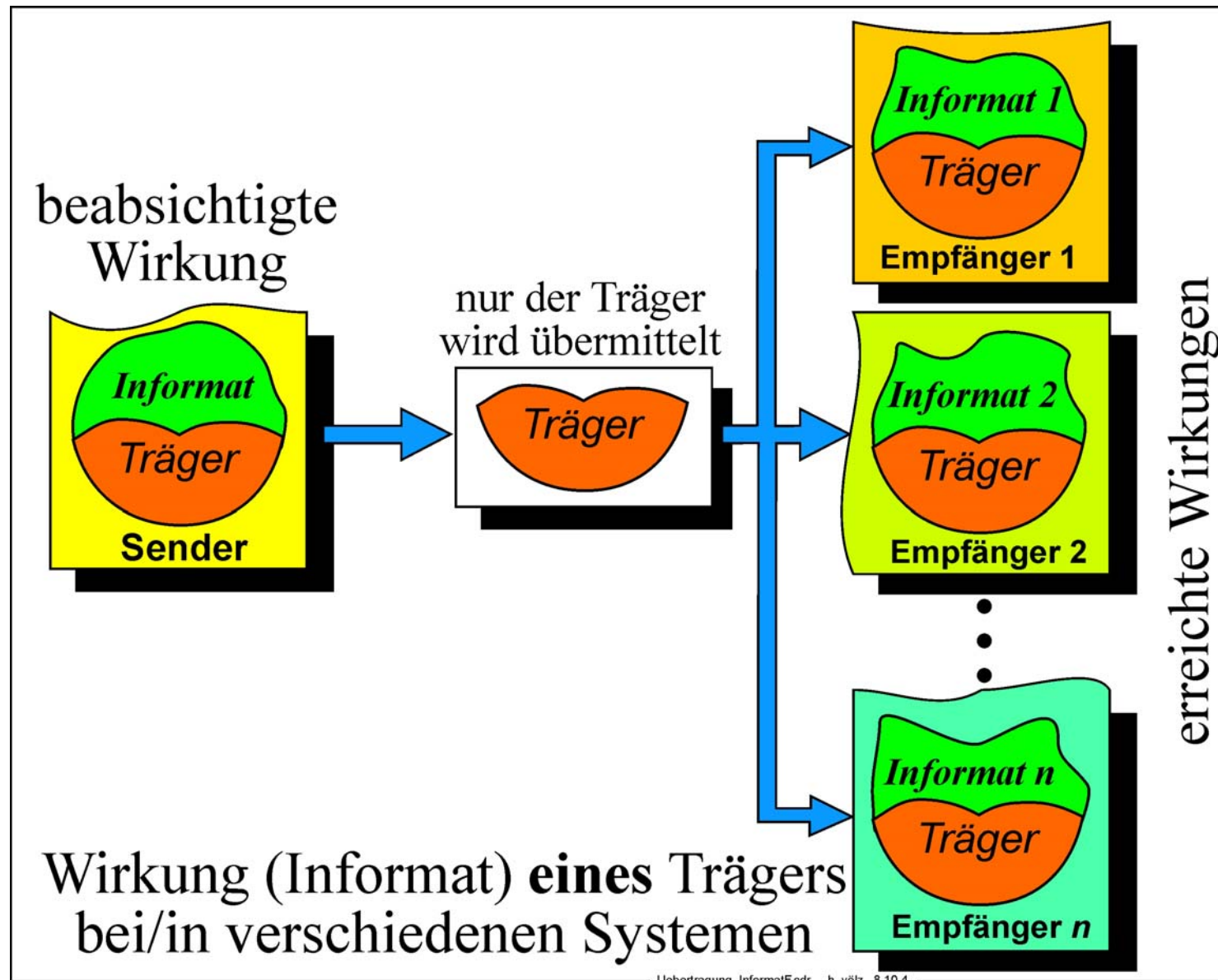
Damit wird auch deutlich, dass bereits mit dem **Trägerwechsel** (Sprache $\Rightarrow$ Schrift) eine Änderung erfolgen kann.

Noch ausgeprägter ist dies bei: **Spott** (Satire) $\Leftrightarrow$ **spot** (Punkt, Platz) und **Sinn** (Inhalt, Bedeutung) $\Leftrightarrow$ **sin** (Sünde)

Selbst in der **Technik** ist dieser Wechsel des Empfangssystems ausgeprägt vorhanden:

Ein Hexcode für eine Intel-CPU löst bei einer von Motorola, wenn überhaupt, eine deutlich andere Wirkung aus.

Auch hier wird das Informat, die Wirkung wesentlich durch das Empfangssystem bestimmt.



Wichtige Folgerungen

Information betrifft immer **Wirkungen** in bzw. mit Systemen.

Sie kann **nur sehr mittelbar** als **Informationsträger gespeichert** werden.

Die **ursprüngliche Information**, genauer das Informat, ist daraus nur mittels eines **angepassten Systems** zu gewinnen.

Das hat aber auch Konsequenzen für die **Gewinnung und Übertragung** (Vermittlung) von Information.

Auch wenn die Information **vollständig im Sender** vorhanden ist,
kann sie nur mittels eines Informationsträgers weiter gegeben werden.

Das bedeutet eine **Reduzierung** der Information **auf einen Informationsträger**.

Dieses Problem kennen die **Künstler und Pädagogen** sehr gut.

Sie müssen Zeichen oder eine Sprache benutzen, die auch der **Adressat kennt und versteht**.

Das bedeutet oft ein langes **Ringens um die richtige „Form“ des Informationsträgers**.

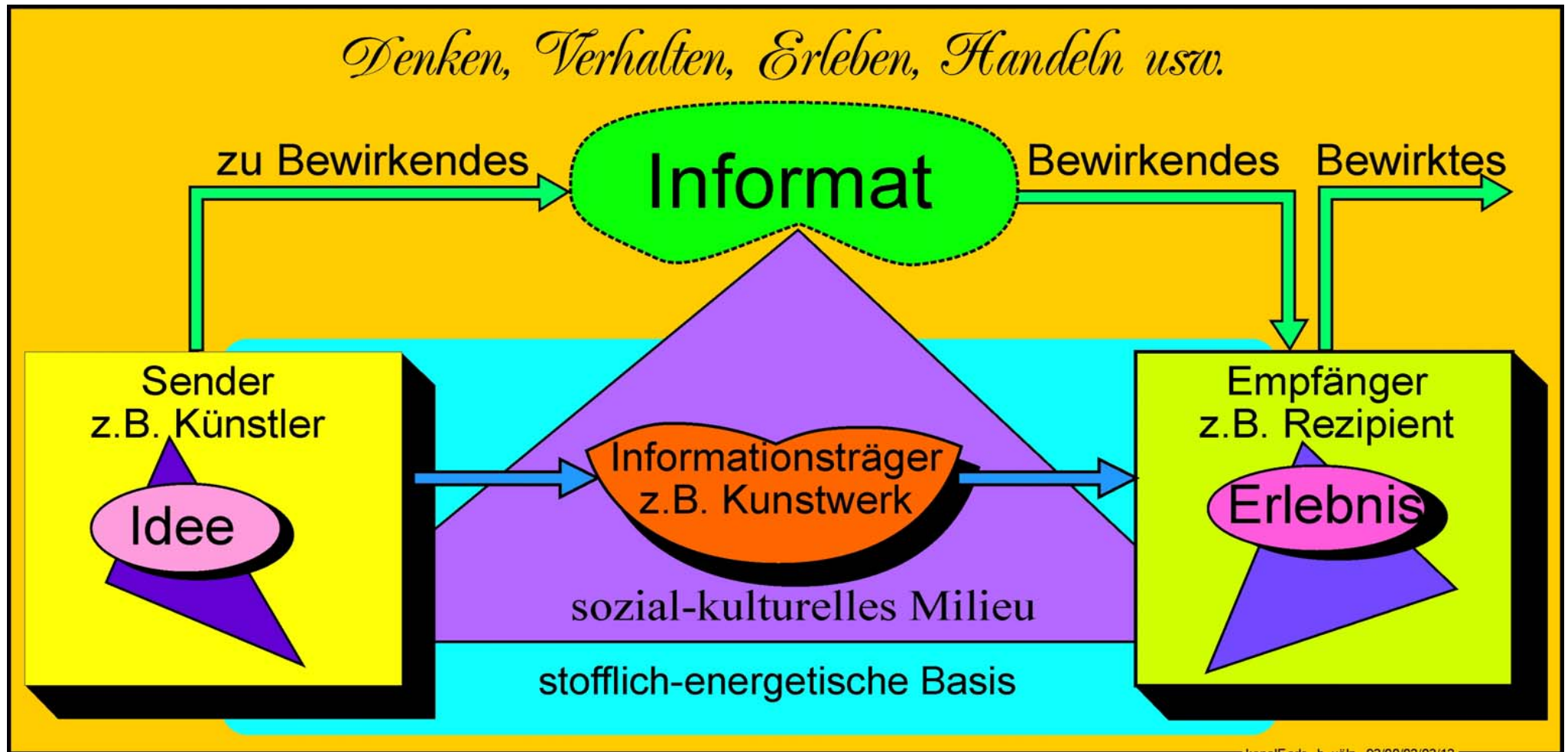
Nur ein gemeinsamer Zeichenvorrat, gemeinsame Sprache ermöglichen **gegenseitiges Verstehen, Kommunikation**.

In der menschlichen Gesellschaft ist hierzu die **Sozialisation** erforderlich.

Der stofflich-energetische **Informationsträger** ist hier also offensichtlich der **Flaschenhals** den alles passieren muss.

Er ist zugleich die einzige Möglichkeit **Information zu speichern**.

Zur seiner **Interpretation** als auszulösende Wirkung ist das **angepasste System** erforderlich.



kanalF.cdr h. vözl 93/00/02/03/12

Definition von Information

- Information besitzt einen stofflich-energetischen Träger, der im Empfangssystem ein Verhalten, das Informat bewirkt.
- **Inhalt, Sinn, Wirkung** usw. der Information hängen wesentlich vom **Empfangssystem ab**.
- **Die Komplexität** von Information betrifft **1.** den Träger, aber **2.** noch viel stärker das Informat.
- Information kann u. a. **gewonnen, erzeugt, gespeichert, verarbeitet und genutzt** werden.
- Wegen des Verhaltens vom Empfangssystem existiert Information primär in der **Zeit**, d. h. sie ist **funktionell** bestimmt.
- **Gespeicherte** Information ist **nur potentiell (als Träger) vorhanden**, Das Informat entsteht erst beim Einwirken auf das zugehörnde Empfangssystem.
- Information – genauer das Getragene – ist **schwer zu erzeugen/gewinnen, aber leicht** durch Speichern des Trägers zu **vervielfältigen**. Alle Kopien wirken auf ähnlichen Systemen ähnlich.
- Einmal gespeicherte Information kann im Prinzip wegen der immer vielfätigen Kopien **nicht mehr verloren gehen**, es sei denn, **alle** passenden Empfangssysteme werden zerstört.
- Da ein Informationsträger in einem passenden System **höchst komplexe Wirkungen** auslösen kann, ist Information im Prinzip **ressourcenfrei**. Sie kann daher beliebig wachsen, Darin liegt der Erfolg der Informationstechnik!.
- Das heute gebräuchliche **Bit genügt nicht** den vielfältig komplexen Zusammenhängen der Information. Es ist bestenfalls für den Informationsträger geeignet. Es muss ein SI-ähnliches Maßsystem entstehen.
- Information kann **wahr, glaubhaft, wahrscheinlich, irrelevant oder falsch** sein.

Gliederung

1. Einführung
2. Stoff, Energie und Information
- 3. Evolution der Speicherung**
4. Systematik der technischen Speicherung
5. Möglichkeiten und Grenzen
- muss noch bearbeitet werden:***
6. Die technisch-elektronischen Varianten
7. Blick in die Zukunft
8. Literatur, Sachwort usw.

Überblick Evolution der Speicherung

Speichern gewann im Laufe der Weltgeschichte durch *Evolution immer komplexere Formen*.

Zu Beginn gab es nur eine *physikalisch-chemische* Speicherung von *Stoff und Energie*.

Spätestens mit dem *Beginn des Lebens* entstand auch eine quasi-informationelle Speicherung,

Dabei ist die **DNS** der Informationsträger aus dem u.a. mit *Ribosomen* (System) das Leben erzeugt und erhalten wird.

Bei den Tieren kam dann die *neuronale Speicherung* hinzu, die schließlich zum *Gedächtnis* der *Gehirne* führte.

Durch Zusammenwirken mehrerer Individuen entstanden *kollektive Gedächtnisse*, u. a. Ameisenstaat.

Schließlich schuf sich der Mensch *technische Speicher*.

Mit ihnen kann er Wissen *außerhalb der Individuen und in großen Mengen* aufzuheben.

Etappen der Speicherung

Speichern beginnt in etwa gleichzeitig mit dem Entstehen der Welt.

Es setzt sich mit der jeglicher Evolution fort. Nur so wissen wir etwas über diese entfernte Vergangenheit

Erst mit der Menschheit wird Speichern planmäßig gestaltet. So ergeben sich verschiedene Etappen gemäß der Tabelle.

Die Aussagen zu **Ziel und Zweck** sind jedoch rein **menschlich** (anthropomorph) und gelten eigentlich erst ab kollektiv

Art	gespeichert (in)	Empfangssysteme	Zweck, Ziel	Beginn vor Jahren
physikalisch-chemisch	Stoff, Energie	vor allem Wechselwirkungen	geschieht unmittelbar aber wie ?	$1,5 \cdot 10^{10}$
egotrop	System-eigenschaften	allgemein unbekannt, später Immunsystem	Unterscheidung von Ich $\Leftrightarrow$ Fremd Nutzen $\Leftrightarrow$ Schaden	$>3 \cdot 10^9$
genetisch	DNS-Sequenzen, Chromosomen	Zellorganellen, Ribosomen, Körperorgane	Erhaltung der Art, und des individuellen Lebens	$3 \cdot 10^9$
neuronal	neuronalen Vernetzungen	Synapsen, Neuronen	Verhalten, Lernen, Wissen	$5 \cdot 10^8$
kollektiv	verteilt über Individuen, (Werkzeug)	Einzelne Individuen	gemeinsame Tätigkeit / Arbeit	$5 \cdot 10^7$
technisch	Speicher-Material	Geräte, Computer, Drucker usw.	umfangreiche Inhalte, Fakten usw. außerhalb des Menschen verfügbar halten	$5 \cdot 10^4$

Physikalisch-chemische Speicherung

Eigentlich müsste hier alles beim **Urknall** beginnen.

Doch hierüber wissen wir sehr wenig und es gibt mehr Fragen als Antworten.

Auf alle Fälle erfolgte damals **keine Speicherung von Information**.

Wir interpretieren heute lediglich das damalige rein stofflich-energetische informationsgemäß aus damaligen Rudimenten.

Besonders alt könnten dafür die **Gravitationswellen** sein, sobald sie nachgewiesen sind.

Die 300 000 Jahre später auftretende **Reststrahlung** kann als eine indirekte energetische Speicherung des Urknalls gelten.

Neben den ersten **Photonen** sind danach die **Elementarteilchen** vielleicht die erste stoffliche Speicherung.

Viel später folgen Sterne, schwarze Löcher, Planeten, die Erde, Sedimente und Auswertungen in der Geologie.

Natürlich existiert auch später und bis heute die stoffliche Speicherung in Partikeln, Molekülen, Kristallen usw.

Bei dieser Betrachtung fällt auf, dass entgegen den eingeführten drei Modellen beim **Urknall** die Energie ursprünglich ist und damit **ohne Energieträger** (Stoff) und dazugehörendes System auftritt! $\Rightarrow$ Frage zum HIGGS-Teilchen!

Das ist wohl die einzige Ausnahme von der Aussage, dass wir nur dann etwas über die Vergangenheit erfahren können, wenn damals eine Speicherung erfolgte.

Vielleicht erklärt sich dieser Widerspruch aus der **Singularität der Zeit** beim Urknall.

Alle spätere und heutige energetische Speicherung erfolgt jedoch per Energieträger und verlangt passende Systeme.

Egotrope Speicherung

Dieser Begriff ist in der üblichen Literatur nicht vorhanden, er wurde von mir aus Sicht der Speicherung geschaffen. Denn bevor Leben entstehen konnte, muss es zumindest als Vorstufe **sich abgrenzende Gebilde** gegeben haben. An ihren „**äußeren**“ **Grenzen** mussten sie entscheiden können, was für sie nützlich oder schädlich ist. Andernfalls würden sie nur eine recht kurze existieren und es hätte kein Leben entstehen können. Diese Erklärung mittels **nützlich** $\Leftrightarrow$ **schädlich** ist zunächst natürlich wieder stark anthropomorph.

Zu Beginn der Entwicklung funktioniert die ergotrope Speicherung offensichtlich rein **stofflich-energetisch**. Aber auch das hoch entwickelte **Immunsystem** der Wirbeltiere funktioniert egotrop. Bei ihm sind deutlich die (Informations-) **Träger** und die dazugehörenden **Systeme** bekannt. U. a. betreffen sie Immun-Globuline, Antikörper und Knochenmark. Systemstörungen sind als Immunkrankheiten bis hin zu AIDS, bei Organverpflanzungen usw. bekannt. Systemänderungen erfolgen absichtlich durch Schutzimpfungen.

Genetische Speicherung

Die ersten Lebewesen entstanden vor etwa $3 \cdot 10^9$ Jahren.

Samen und Eier sind offensichtlich **die** Speicher für Lebewesen.

Damit aus ihnen die Lebewesen entstehen können, sind jedoch komplexe Systeme notwendig.

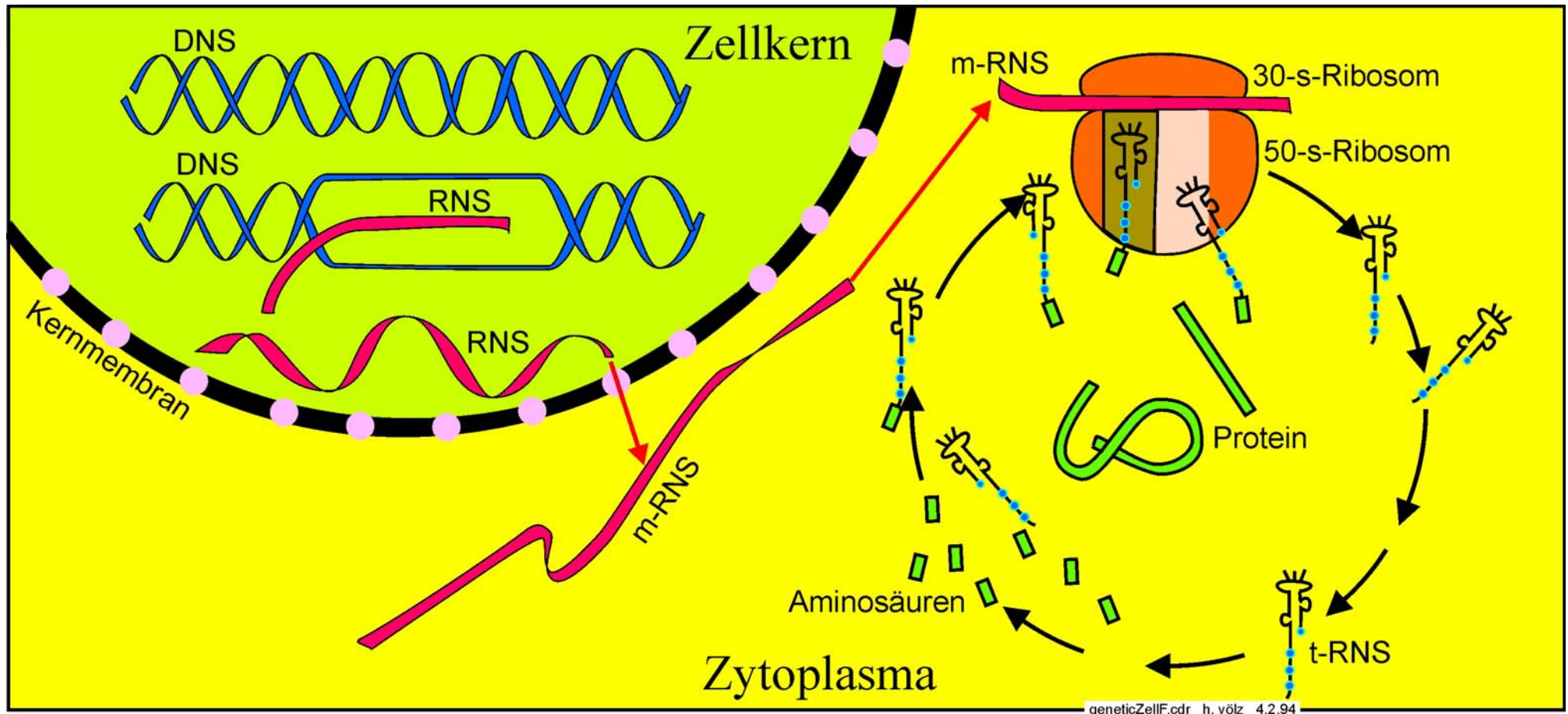
Doch auch sie sind oft – zumindest mittelbar – in den Samen bzw. Eiern vorhanden.

Eine entscheidende Grundlage des Lebens ist der seit 1963 bekannte genetische Code.

Primär erfolgt die genetische Speicherung im **Informationsträger** DNS.

Der Übergang von der DNS zum Lebewesen ist höchst komplex.

Er nutzt mehrfach verkoppelt das Verhältnis von **Informationsträger und angepassten Systemen** (s. Bild).



Im Zellkern lagert die **DNS als Informationsträger** – gut gesichert durch die Kernmembran. Von ihr wird die RNS abgelesen, sie kann den Zellkern durch die Poren verlassen. Mit den **Ribosomen als Empfangssystem** werden dann im Zytoplasma die Proteine erzeugt. Sie dienen – teilweise wiederum als Informationsträger – dem Aufbau und der Erhaltung des Lebewesens mittels zweckentsprechender Organe als Teilsysteme vom Organismus.

Ergänzende Aussagen

Die vollständige DNS ist immer hoch **parallel** in allen, bis zu 10^{15} **Zellen** des einzelnen Lebewesens vorhanden.

Diese **gewaltige Verschwendung** zeigt, wie **wichtig** der Natur die **Speicherung** ist.

Zusätzlich ist die DNS im **Zellkern** gut geschützt und bei der Zellteilung noch viel stärker in den **Chromosomen**.

Außerdem werden immer nur jene Bereiche zugänglich gemacht, die nach Ort, Zeit und Zweck benötigt werden.

Nur bei den **Stammzellen** sind im Prinzip alle DNS-Sequenzen zugänglich. Das ermöglicht ein Klonen.

Trotz aller Sicherheitsmaßnahmen treten bei der DNS, z. B. durch γ -Strahlen, **Fehler** auf.

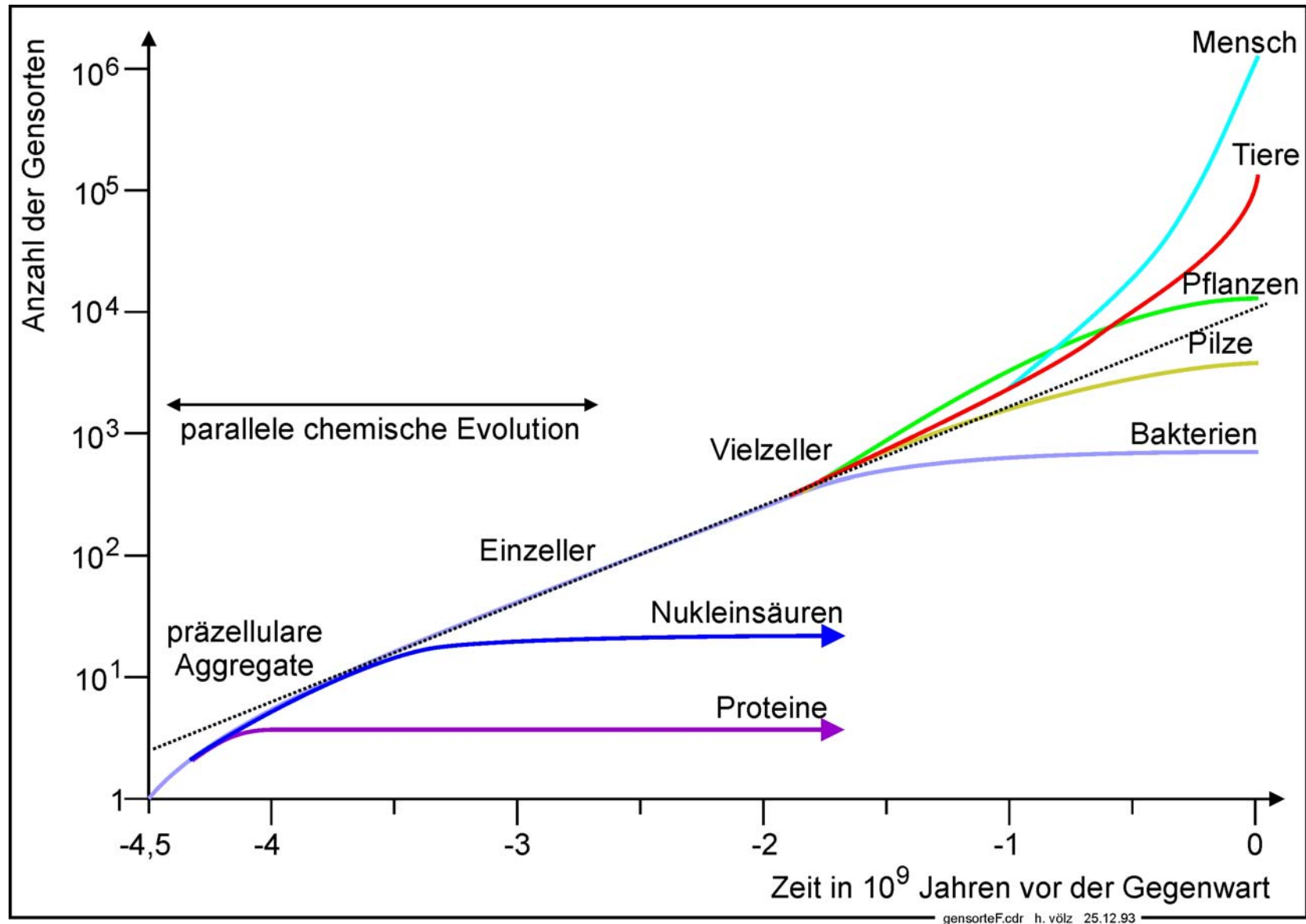
Das ermöglicht **Mutationen** und somit die Evolution des Lebens.

Bei der Fehlerrate von $\approx 10^{-4}$ ist das Verhältnis von Stabilität und Änderbarkeit offensichtlich gut ausgewogen.

Das notwendige Zusammenwirken von **Informationsträger** und passendem **Empfangssystem** demonstrieren die **Viren**.

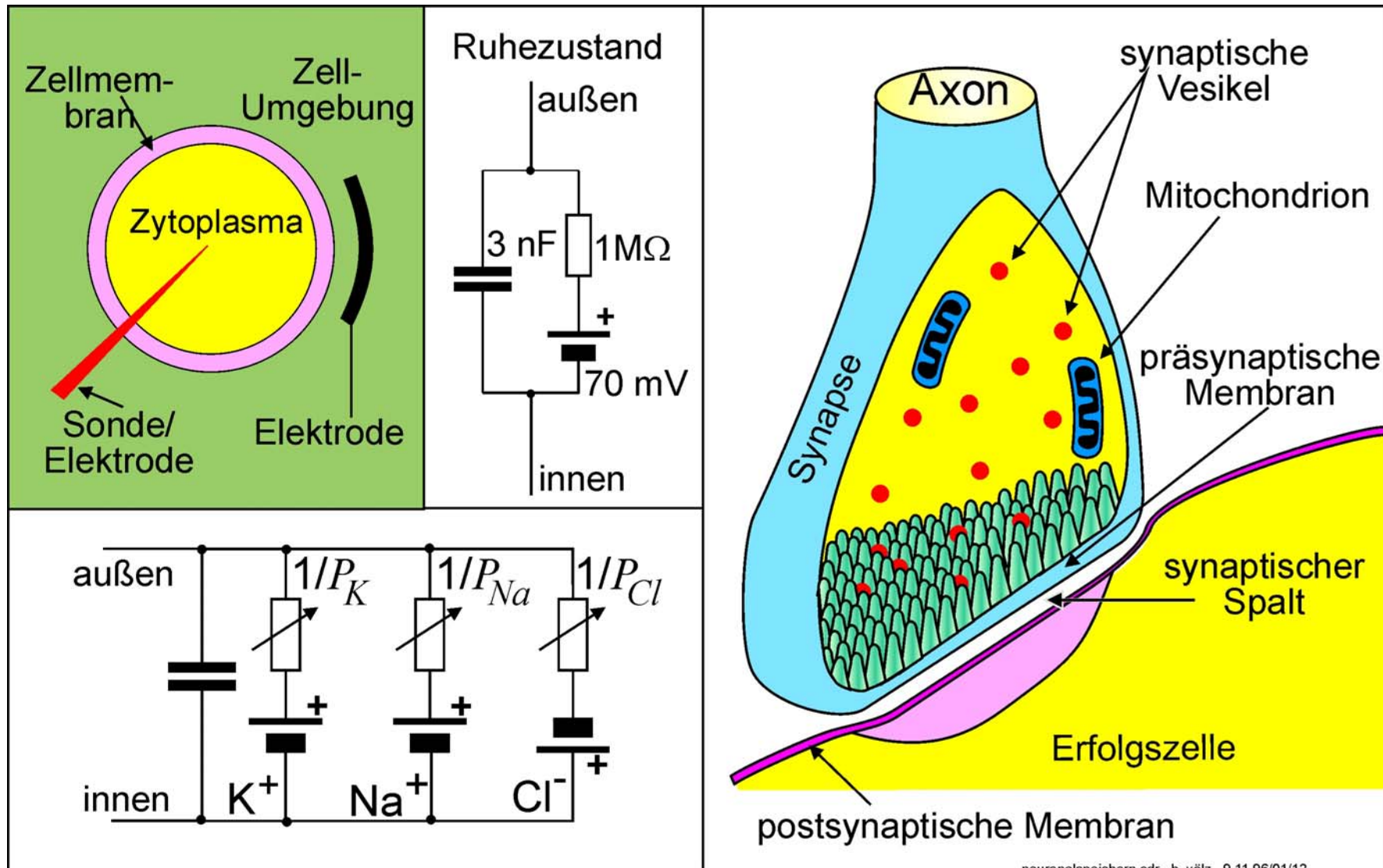
Sie bestehen nur aus dem Informationsträger. Daher können sie sogar als DNS-Kristall vorliegen.

Damit sie sich wie Leben vermehren können, nutzen sie passende Systeme anderer lebender Zellen.



Neuronale Speicherung

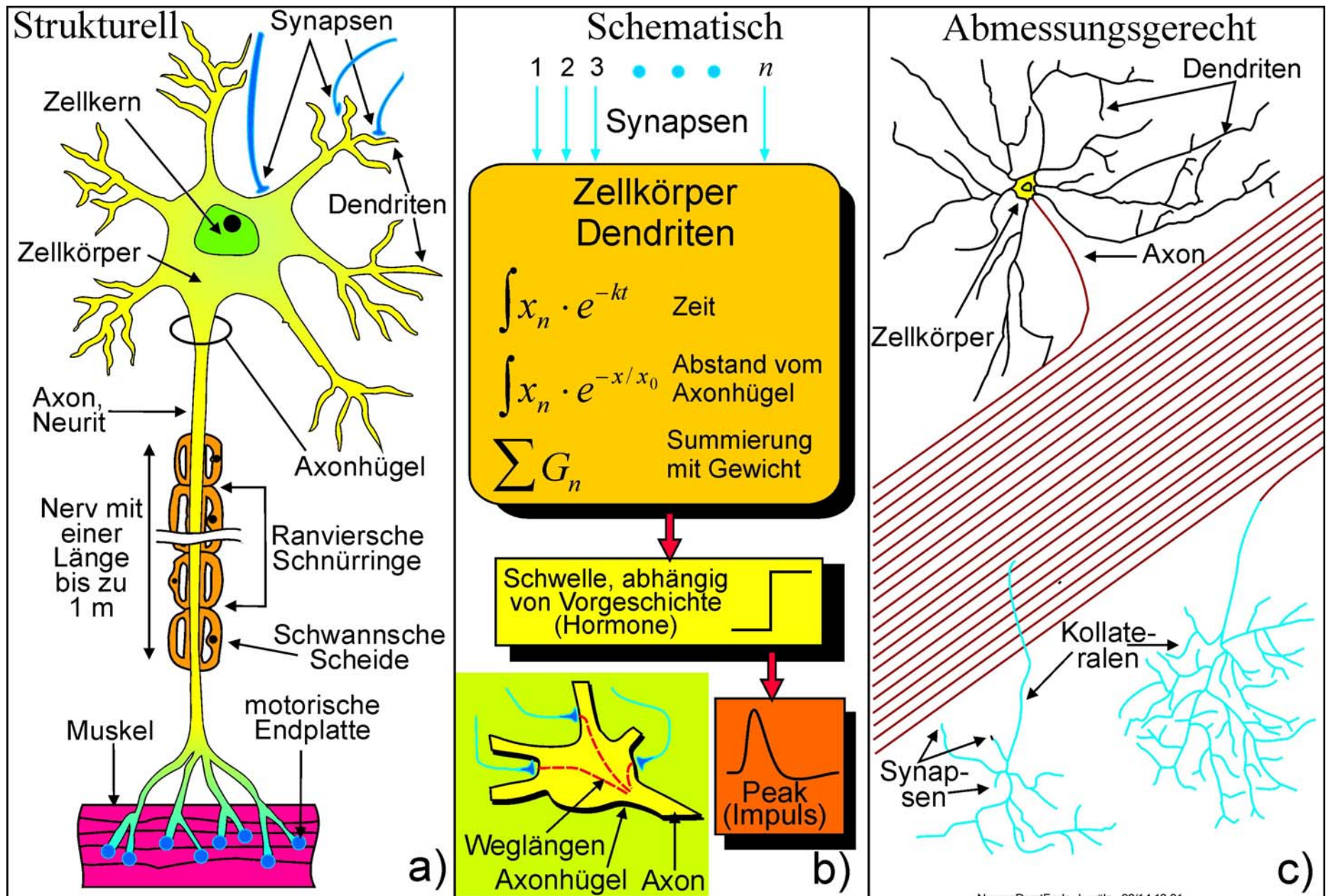
Als das Leben zum Land übergang traten vielfältige neue Bedingungen u. a. **Wetter** und **Klima** auf. Mit der **Tierwelt** kam die aktive **Ortsveränderung** mit neuen **Umgebungen, Bedingungen** hinzu. Das erforderte eine schnelle Wahrnehmung und individuelle Anpassung des Verhaltens. Das war mit der „begrenzten“ Speicherkapazität der **Genetik** nicht mehr ausreichend möglich. Hierbei gewann jedes einzelne Lebewesen **Erfahrungen**, die oft **für andere nicht nützlich** waren. Daher konnte und musste vielleicht dieses „Gedächtnis“ **mit dem individuellen Tod „gelöscht“** werden. So entstanden die **Sinneszellen** und **Neuronen** sowie deren komplexe Verschaltung zum **lernfähigen Gehirn**. Das **beginnt** bei den **Polypen** und geht über Insekten, Krebstiere, Spinnen, Weich- und Wirbeltiere bis zum Menschen. Die entscheidende Grundlage der Sinneszellen und Neuronen ist **bio-chemisch-elektrolytische Zelle**. Eine elektrisch isolierende **Membran** trennt den Zellinhalt gegenüber der Umwelt. Aktive Ionenpumpen in der Membran sorgen die lebenswichtige konstante Ionen-Konzentrationen in der Zelle. Sie betreffen vor allem die Ionen Ka^{+} , Na^{+} und Cl^{-} . Die Konzentrations-Abweichung gegenüber der Umgebung bewirkt einen Potentialunterschied von etwa 70 mV. Physikalisch, chemische **Reize** können die Ionenpumpen (zeitweilig) blockieren. Dann bricht die Spannung zusammen. Dieser Impuls kann elektrochemisch über die Axone der Sinneszellen und Neuronen weitergeleitet werden. Die Synapsen schütten dann einen Transmitter aus, der auf andere Neuronen einwirkt.



Ergänzungen

Für das Neuron ist der chemische Transmitter ein **Informationsträger**, der sich in den Vesikeln der Synapsen befindet. Gelangt er auf die Membran des Neurons (**Empfangssystem**) so werden die nahe liegenden Ionenpumpen blockiert. Auf einem Neuron und seinen Dendriten befinden sich **viele Synapsen**, bis zu 50 000. Daher können nur viele Synapsen gemeinsam einen Zusammenbruch der Spannung, ein **Aktionspotential** auslösen. Das ist das **Informat** des Neurons, welches über das Axon an andere Neuronen weitergeleitet wird. Einige Neuronen produzieren auch Transmitter, die Ionenpumpen aktivieren. Insgesamt entsteht so eine **komplexe Verschaltung** vieler Neuronen zu einem Gehirn.

Bei **Sinneszellen** kann Aktionspotential durch sehr unterschiedliche Reize ausgelöst werden.

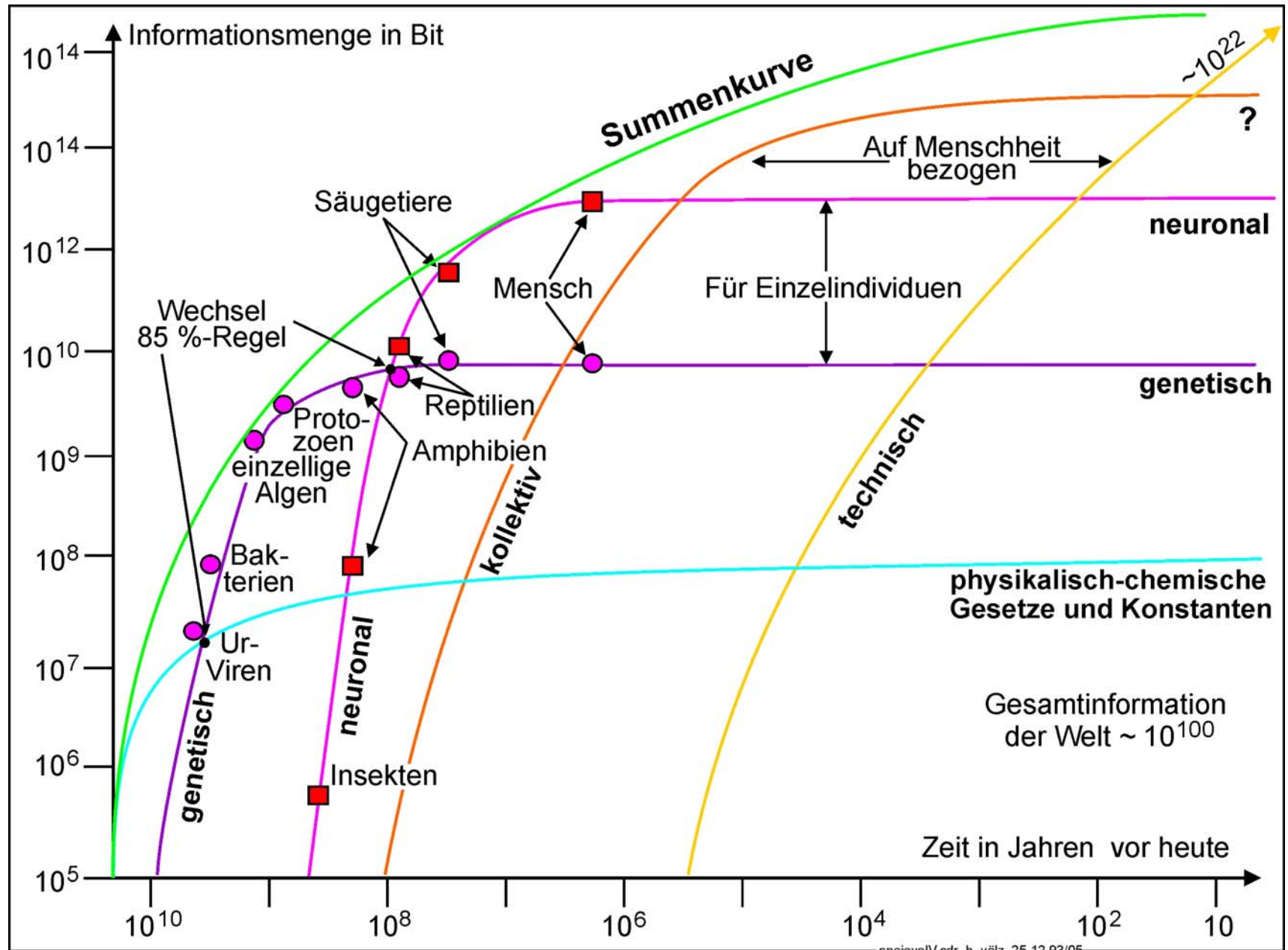


Der **Übergang** des Lebens von Wasser zum Land erfolgte mit den **Reptilien**.

Hier erreicht die Genetik etwa 85 % der maximal möglichen Speicherkapazität.

Diese **85 %-Regel** gilt bei fast allen Neuerungen, insbesondere auch in der Technik.

Auf die Kurven der **nichtbiologischen Speicher** wird später eingegangen.



Zum menschlichen Gedächtnis

Ein besonders wichtiger individueller Speicher jedes Menschen ist sein Gedächtnis.

In ihm sind u. a. sein **Leben** und damit seine **Persönlichkeit** fixiert.

Hier sind seine **Erinnerungen** aufbewahrt. Mit ihm erkennt er seine **Mitmenschen** und **Umgebung** wieder.

Ein gutes, zuverlässiges Gedächtnis ist meist von Vorteil und daher sehr erwünscht.

Meist lassen sich die Inhalte des Gedächtnisses zu ihrer Nutzung leicht ins **Bewusstsein** zurückholen.

Mittels Denken lassen sich Gedächtnisinhalte zu **neuen Erkenntnissen** kombinieren.

Das gelingt **kreativen** Persönlichkeiten besonders gut.

Vergessen erfolgt nur mehr oder weniger zufällig; es kann aber auch nur vorübergehend sein.

Besonders im Alter werden schon **vergessen geglaubte Inhalte** wieder zugänglich.

Absichtliches Vergessen – besonders von unerfreulichen Erlebnissen – ist leider nicht möglich.

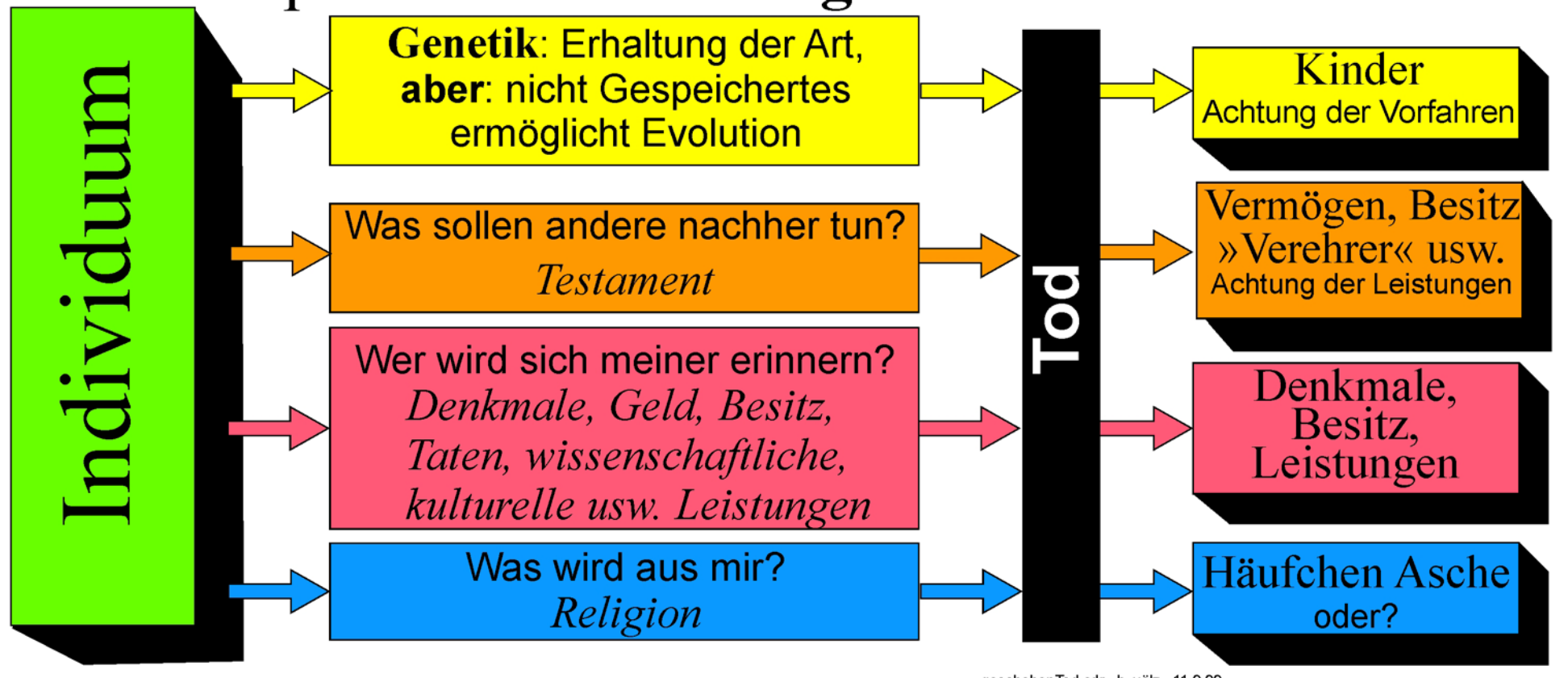
Daher sind unerfreuliche Erlebnisse oft **schwer zu bewältigen**.

Fast jeder Mensch hat das tiefe Bedürfnis, auch **im Gedächtnis anderer** positiv und langfristig fixiert zu sein.

Jeder weiß aber, dass sein individuelles Gedächtnis mit seinem Tode verloren geht.

Daher sind viele Varianten für ein langes Andenken an den Verstorbenen erfunden worden (vgl. Bild).

Speichern als **Vorsorge** nach dem Tod



geschehenTod.cdr h. vözl 11.9.99

Formen der Gedächtnis-Inhalte

Im menschlichen Gedächtnis sind sehr unterschiedliche Inhalte aufbewahrt.

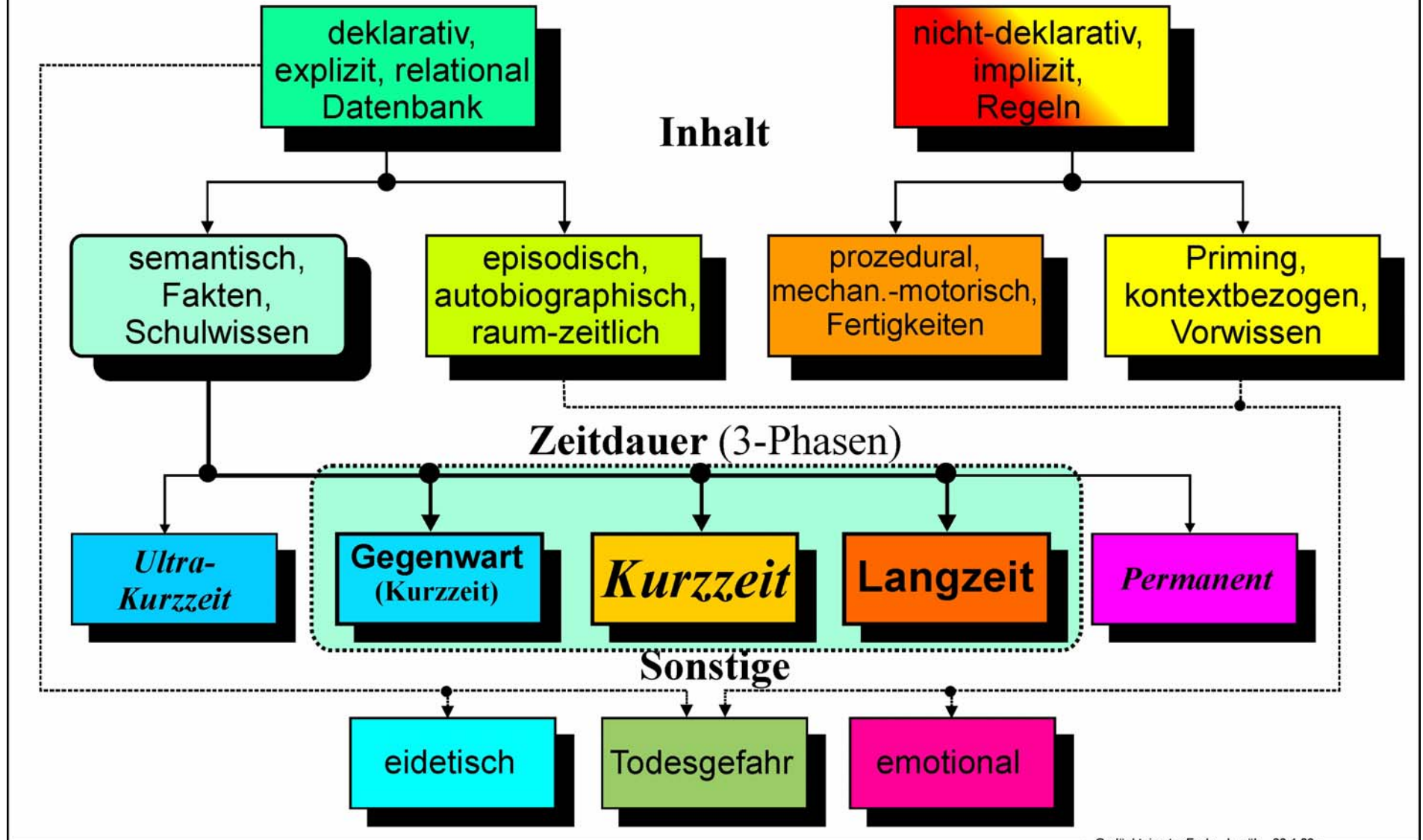
Obwohl alles im gleichen Gehirn geschieht, hängen aber die Parameter der Speicherung erheblich vom Inhalt ab.

Zwei wichtige Gruppen - die aber noch weiter unterteilt werden müssen listet die Tabelle auf:

Deklarative Fakten	Nicht-deklaratives Wissen
beschreibt die Inhalte	erklärt die Inhalte
Sie sind explizit, relational, enzyklopädisch: semantisch (Zeitvarianten!) $\Leftrightarrow$ episodisch.	Sie sind implizit: prozedural (Fertigkeiten) $\Leftrightarrow$ Priming (Vorwissen).
„Wissen was oder dass“, Fakten, Datenbank, Lexikon, Wissen, Biographie, Denkpsychologie, Kognition.	„Wissen wie“, Regeln, Abläufe, Prozesse, Fertigkeiten Behaviorismus, Verhalten.
Gespeicherte Ereignisse/Fakten sind meist verbalisierbar, schnell, flexibel: semantische kennen drei Zeitstufen meist erfolgt bewusste Erinnerung, kann blockiert werden.	Schwer zu verbalisieren, langsam, unflexibel, wirkt unmittelbar, direkt; meist unbewusste Ausführung, immer zugänglich.
Durch Hirnschäden meist stark beeinträchtigt.	Durch Hirnschäden weniger beeinträchtigt.

Lateinisch **declaratio** Kundgebung, Offenbarung; griechisch **semantikos** bezeichnend.

Gedächtnis-Arten



GedächtnisartenF.cdr h. vözl 22.1.02

Erforschung des Gedächtnisses

Erste bekannte *systematische* Analyse ARISTOTELES (384 - 322 v.Chr.), betrifft hauptsächlich Assoziationen.

1862 **dokumentiert medizinisch** RUDOLF WAGNER (1805 - 1864). Er bemerkte, dass sein Kupferstecher LOEDEL nach einem Unwohlsein innerhalb weniger Minuten alles Mitgeteilte vergaß. Bei der späteren Obduktion stellte er fest, dass im Bereich des Ammonshorn (Hippocampus) eine deutliche Veränderung vorlag.

1885 experimentelle Studien HERMANN EBBINGHAUS (1850 – 1909). Buch „Über das Gedächtnis“: assoziatives und verbales Lernen, Lernaufwand verringern, über Vergessen Gedächtnisumfang bestimmen (sinnlose Silben).

1890 Analysen von WILLIAM JAMES (1842 - 1910) lassen ein **primäres und sekundäres** Gedächtnis unterscheiden.

1928 postuliert OTTO PLÖTZL: **Halluzinationen** sind ungeordnete Inhalte aus dem Gedächtnis.

1932 BARTLETT **Vorwissen und Inferenzen** (inhaltliche Verknüpfungen von Inhalten) für **Erinnerung** wichtig.

1949 DONALD Olding HEBB (1904 – 1985) postuliert „**plastische**“ **Neuronen**, bis Ende 50er Jahre umstrittenen.

1958 BROADBENT unterscheidet ein **Kurz- und Langzeit-Gedächtnis**.

1961 HOLGER HYDÉN Postulat **RNS** (Molekulargenetik, Biochemie) ist entscheidend.

1967 WILDER PENFIELD (1891 - 1976) entdeckt zufällig: elektrische Reizung des Schläfenlappens rufen beim Patienten Vorgänge, Erlebnisse der Vergangenheit hervor.

Zeitstufen

Quantitative Werte für das Gedächtnis wurden bisher fast ausschließlich für verbale Inhalte gewonnen.

Die hierfür entscheidende Idee stammt von EBBINGHAUS und enthält zwei Methoden:

1. Überindividuell kann Wissen nur mittels des Lernens von **sinnlosen Silben** oder **Zufallszahlen** bestimmt werden.
2. Die **Menge** ist indirekt über das **zeitabhängige Vergessen** des Gelernten zu gewinnen.

Gründliche, von vielen Autoren wiederholte Messungen führen dabei zu **drei Stufen** (selten zu 2) des Lernens.

Seit etwa 1970 sind sie zusätzlich durch unterschiedliche **Prozesse bei den Neuronen** belegt (Bild).

Die gewonnenen Ergebnisse sind aber nur sehr eingeschränkt auf andere Gedächtnisarten übertragbar.

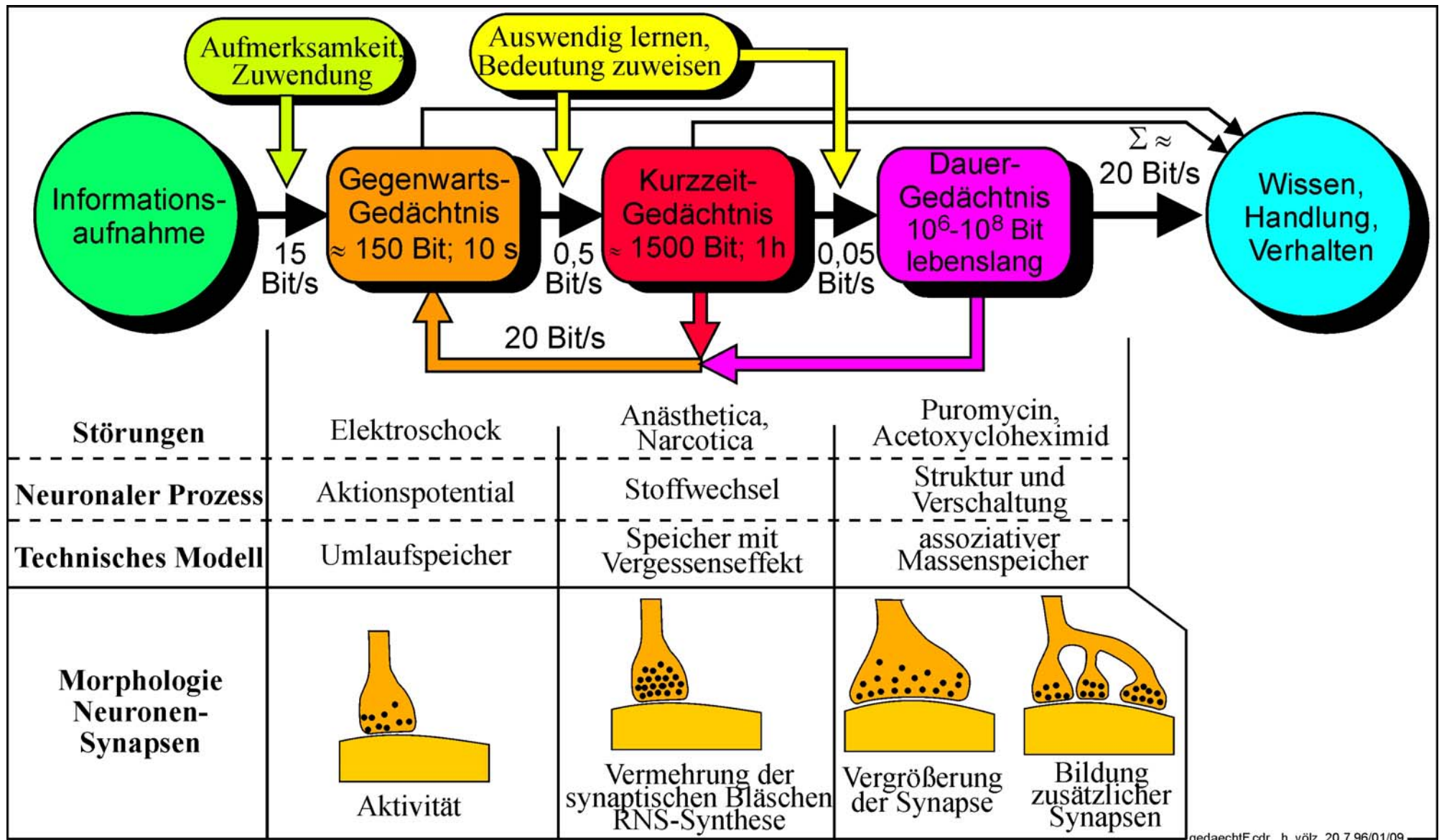
Andere Inhalten lassen sich schwierig oder gar nicht **in Bit umrechnen**.

Eine weitere Ursache dürfte sein, dass oft nicht das **Bewusstsein** einbezogen wird.

Bei bildlichen Informationen z. B. wird es oft einfach „übersprungen“.

Nur im Gedächtnis vorhandene Bilder können wir uns „nicht ansehen“, bestenfalls schematisch vorstellen.

So etwas ist nur Traum, teilweise im Tagtraum möglich, doch diese Bilder gehorchen nicht unserem Willen.



Kollektives Gedächtnis

Einige Lebewesen, insbesondere Ameisen und Bienen bilden Staaten.

Hier muss nicht mehr jedes Individuum alles wissen. Die so mögliche **Arbeitsteilung** ist von Vorteil.

So wird die Speicher-Grenze des Individuums überwunden, und es entsteht ein größeres kollektives Wissen.

Diese Möglichkeit ist besonders stark in der **menschlichen Gesellschaft** ausgeprägt.

Durch sie sind u. a. **Kultur** und **Zivilisation**, z. B. Traditionen, Mythen, Religionen, Rituale, künstlerische und wissenschaftliche Schulen, geistige Bewegungen möglich.

Einen Teil des kollektiv Gespeicherten erlernt bereits jedes Kind während seiner **Sozialisierung**.

Es gibt aber auch **Nachteile**: fällt z. B. bei einem **Fließband** ein Spezialist aus, so steht das Band still.

In verschiedenen Fachgebieten existieren unterschiedliche Varianten des kollektiven Gedächtnisses.

Das **kommunikative** Gedächtnis enthält nur Fakten, die lebende Mitglieder erlebt haben und darüber erzählen können.

Das **kulturelle** Gedächtnis besteht aus ständig aktiv wiederholten Mythen über schon lange Vergangenes.

Solange keine schriftlichen Aufzeichnungen (technische Speicher) existieren sind beide durch den **floating gap** getrennt.

Nicht unbedingt zum kollektiven zählt das **geschichtlich** oder **historische** Gedächtnis.

Die Geschichtswissenschaft verlangt nämlich (technisch gespeicherte) Dokumente als Fakten.

Sie wurden jedoch nur von den jeweils Herrschenden angelegt

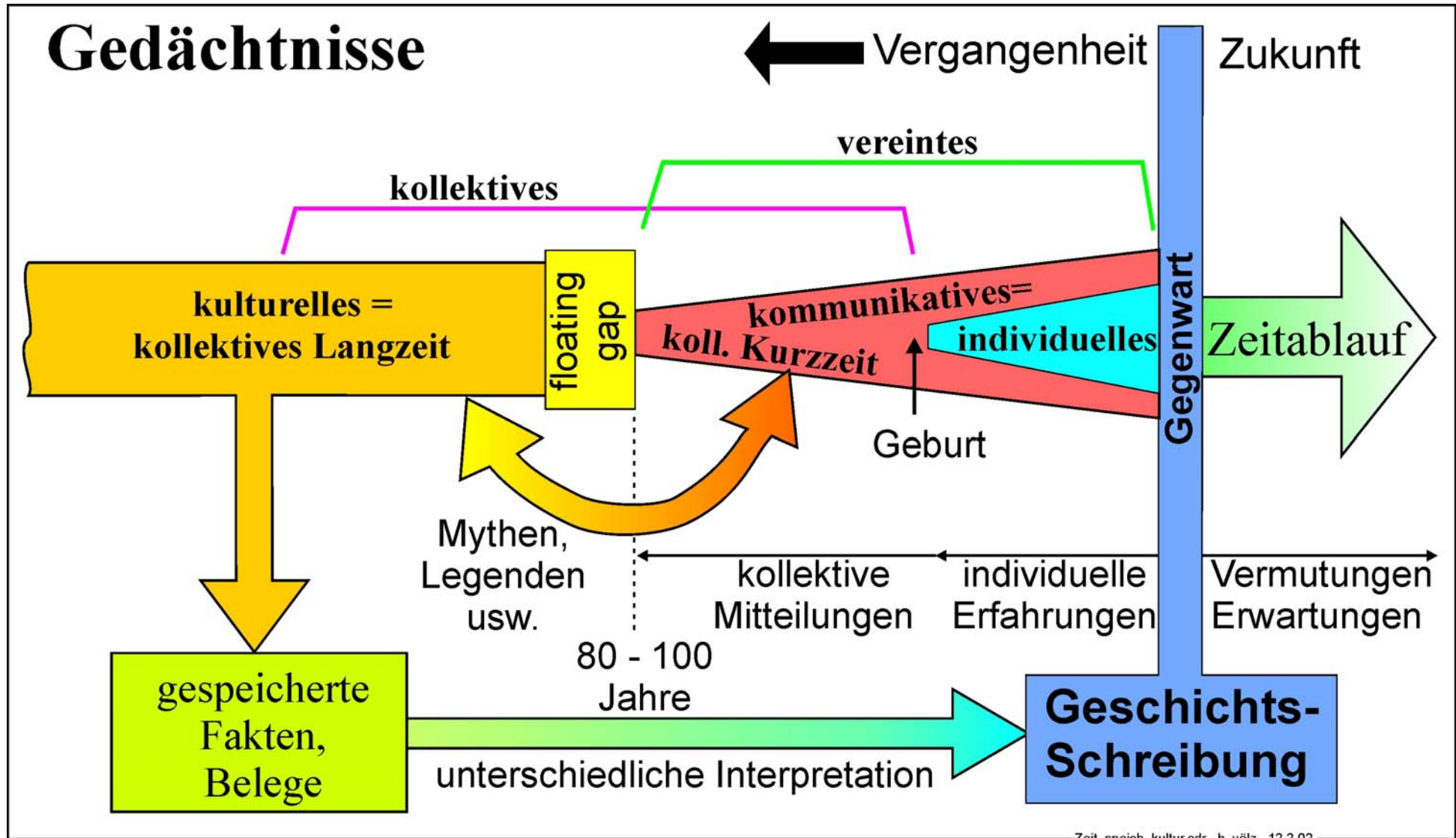
Außerdem werden sie entsprechend den gegebenen gesellschaftlichen Bedingungen ständig neu interpretiert.

Eine Einteilung nach dem Umfang und den Korrelationen der Inhalte ergibt:



Gedächtnis1.cdr h. Völz 25.8.09

Für die zeitlichen Zusammenhänge gilt:



Technische Speicher

Es gibt zwei wichtige Gründe, die zu „technischen“ Speichern führten:

1. Mit dem **Tod** geht das individuelle Gedächtnis eines jeden zugrunde.
Damit die Nachwelt sich an einen Menschen usw. erinnert, wurden Denkmale usw. geschaffen (s. o.).
2. Der Mensch schuf sich **Werkzeuge; bewahrte** sie aber im Gegensatz zu den Tieren zur späteren Nutzung auf.
In ihnen ist jedoch auch die Funktion, der Gebrauch gespeichert.
Heute wird meist angenommen, dass dieses Aufbewahren der Beginn der Menschwerdung ist.
Im Prinzip entspricht ein aufgehobenes Werkzeug einem **ROM** (read only memory),
ähnlich auch die Schiene für einen Zug und die Drehbank für die Produktion.

Hierdurch entstehen viele neue **Beziehungen zur Welt**.

Sie ermöglichen **wirkungsvolleres Handeln** und besseres Verstehen der Welt.

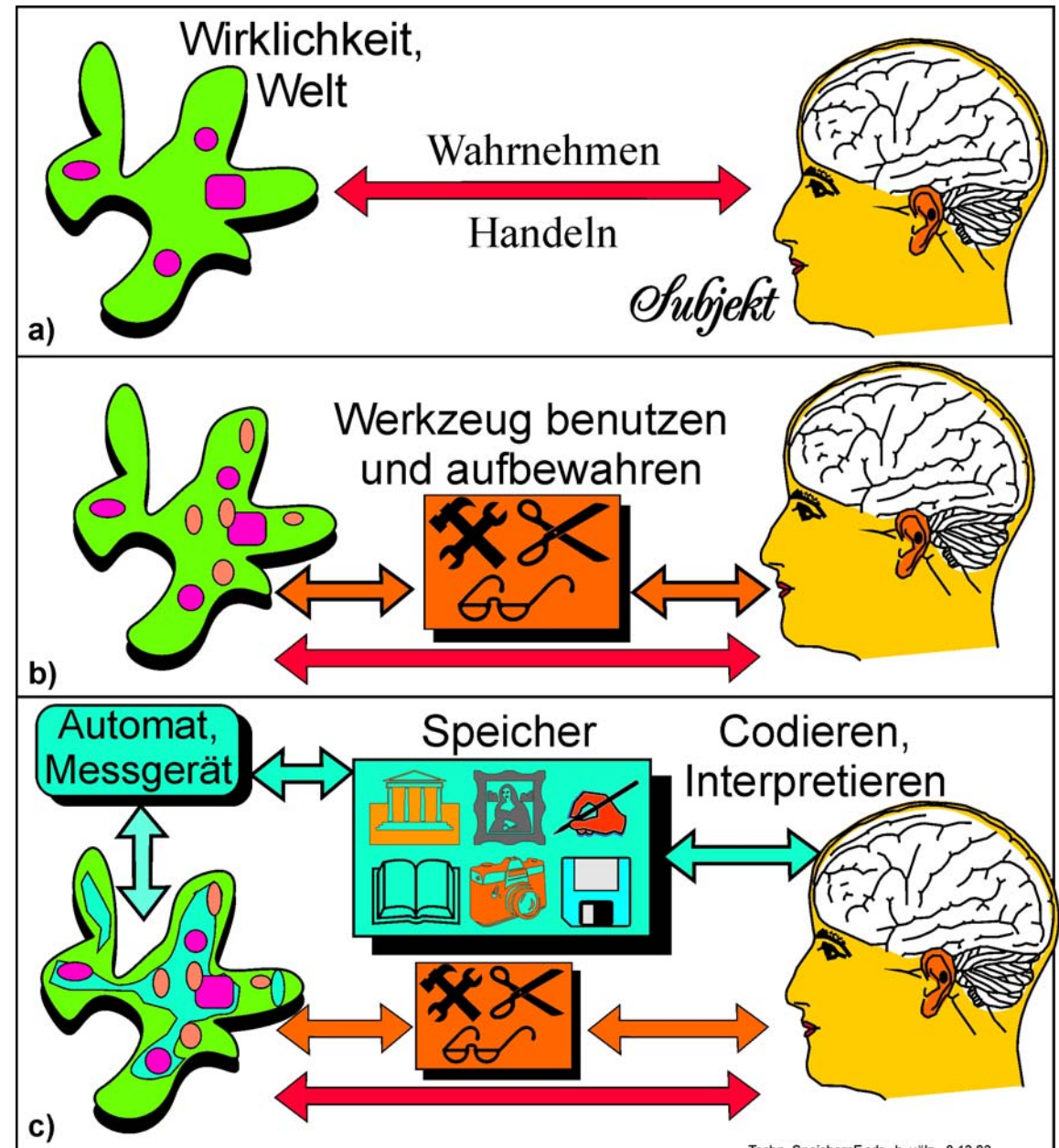
Ohne Werkzeuge können nur **kleine „Ausschnitte“** aus der Welt wahrgenommen werden. Es kann auch nur **physisch** auf die Umwelt eingewirkt werden.

Mit **Werkzeugen** sind ein deutlich umfangreicheres und **wirksames Handeln** möglich. Außerdem kann von der Welt **weitaus mehr erkannt** und damit **berücksichtigt** werden.

Mit zusätzlichen **Speichern** ist auch ein „**simuliertes**“ **Handeln** als Erprobung und Vorwegnahme möglich.

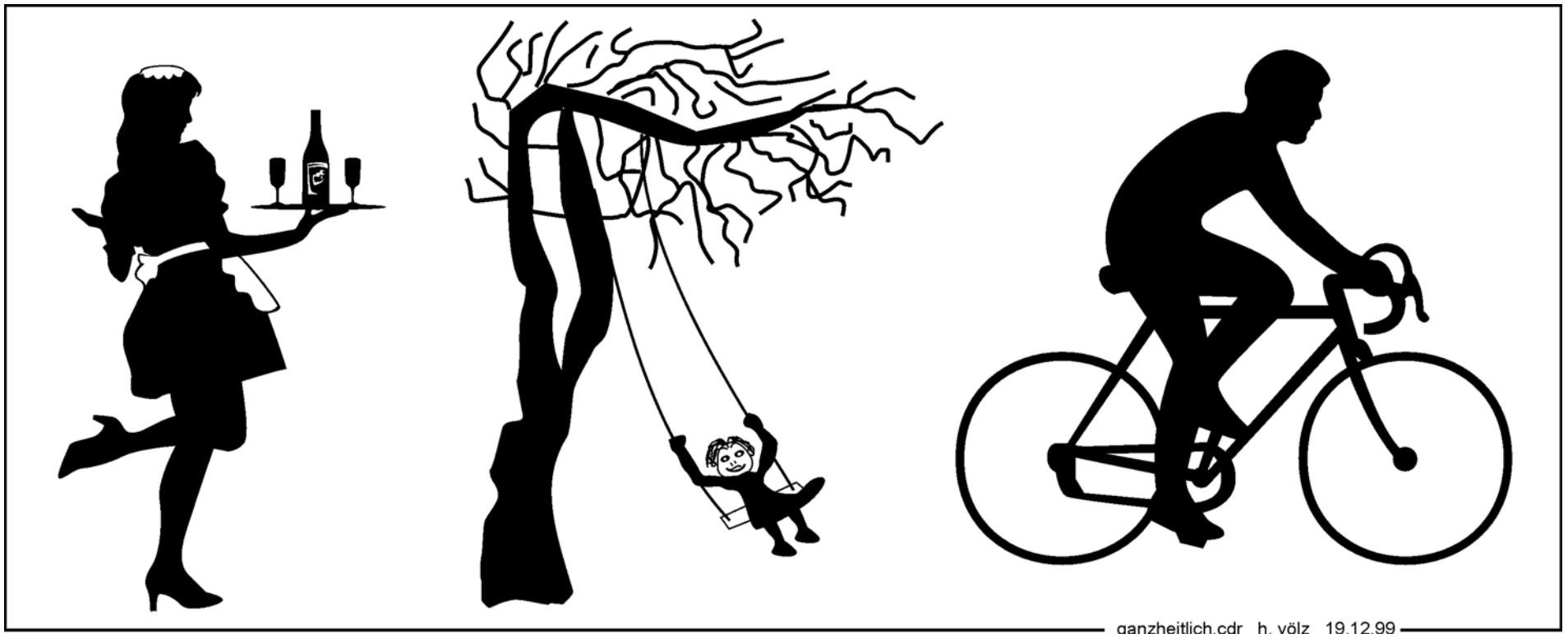
So wird das **Risiko** für falsches Handeln deutlich **verringert**.

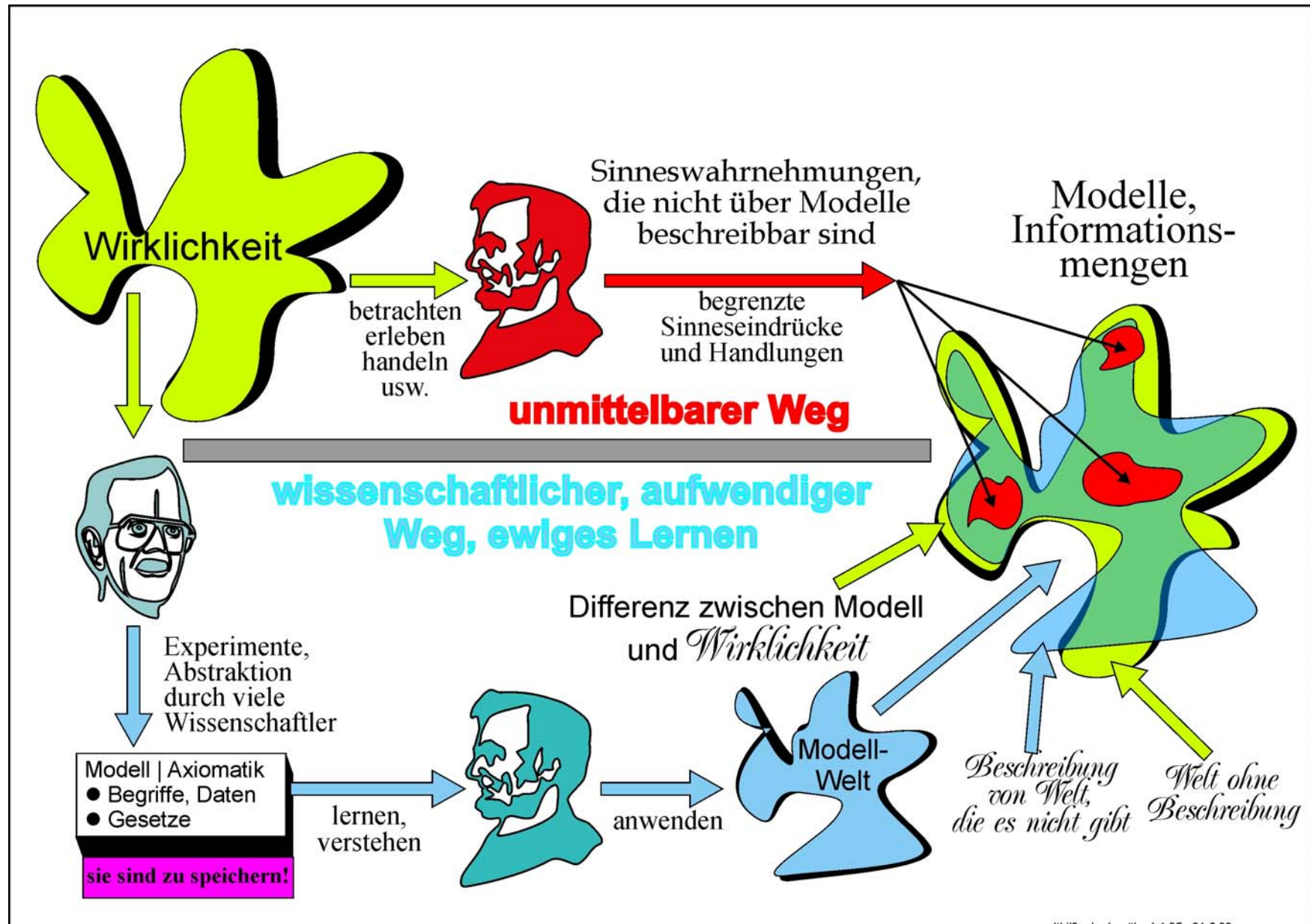
Werden die Speicher **mit Automaten usw. gekoppelt**, so sind sogar Handlungen und Messungen **ohne unmittelbare Tätigkeit** des Menschen und sogar in **gefährlichen** oder **unzugänglichen Bereichen** möglich.



Vertiefung der Zusammenhänge

Wesentliche Fortschritte erbrachte die Einführung der systematischen Wissenschaften im Altertum. Doch auch ohne sie kann der Mensch, wie die folgenden Beispiele zeigen, sehr komplexe Handlungen erlernen. Es wissen nicht: *Kellnerin*: Schwerpunktsatz; *Kind*: parametrische Resonanz-Erregung; *Fahrrad*: Kreiseltheorie.





Überblick Geschichte der Speichertechnik

Die Geschichte der technischen Speicherung ist äußerst vielfältig.
Daher werden hier nur die wichtigsten Etappen vorgestellt.

Jahr	Techniken	Abstand/Jahre
-300 000	Werkzeuggebrauch	Bezug
-30 000	Felsbilder	270 000
-6 000	Schrift	24 000
1450	Buchdruck	7 450
1830	Photographie	380
1900	Lochkarte, Schallplatte	70
1950	elektronische + magnetische Medien	50
1985	optoelektronische Medien	35
20??	???	???

Bei der Schrift ist vielleicht noch zu ergänzen:

1500 v. Chr. entsteht das erste Alphabet und 400 v. Chr. die griechische Alphabetschrift.

Weiter fällt auf, dass der **Abstand** der wichtigen **Innovationen** wird immer **geringer** wird.

Doch es ist völlig ungewiss, was als neue Technologie auf die optoelektronischen Medien folgen wird.

Offensichtlich hört um die letzte Jahrtausendwende die Zeitverkürzung bezüglich der Innovationen auf!

Zur Speicherkapazität

Bis etwa 1995 galten folgende Aussagen:

- Wie viel Speicherkapazität durch die Weiterentwicklungen auch bereitgestellt wird, stets fordern leistungsfähigere Anwendungen und Betriebssysteme wesentlich mehr.
- Daher steigen die Forderungen an die Speichertechnik schneller als der Zuwachs durch verbesserte Techniken.

Doch dann trat unerwartet eine bis heute nicht erklärte und zuweilen noch einmal erfasste Wende ein (s. unten).

Es konnte preiswert mehr Speicherkapazität zur Verfügung gestellt werden, als genutzt wurde.

Eine geringfügige Ausnahme sind (noch) einige Anwendungen der Videotechnik.

Das geschah sogar etwa gleichzeitig für Halbleiterspeicher, Festplatten und optische Medien (CD).

Preisverfall und -schwankungen waren die Folge, die bis heute anhalten.

Ist vielleicht deshalb keine neue Technologie entstanden? (85 %-Regel!)

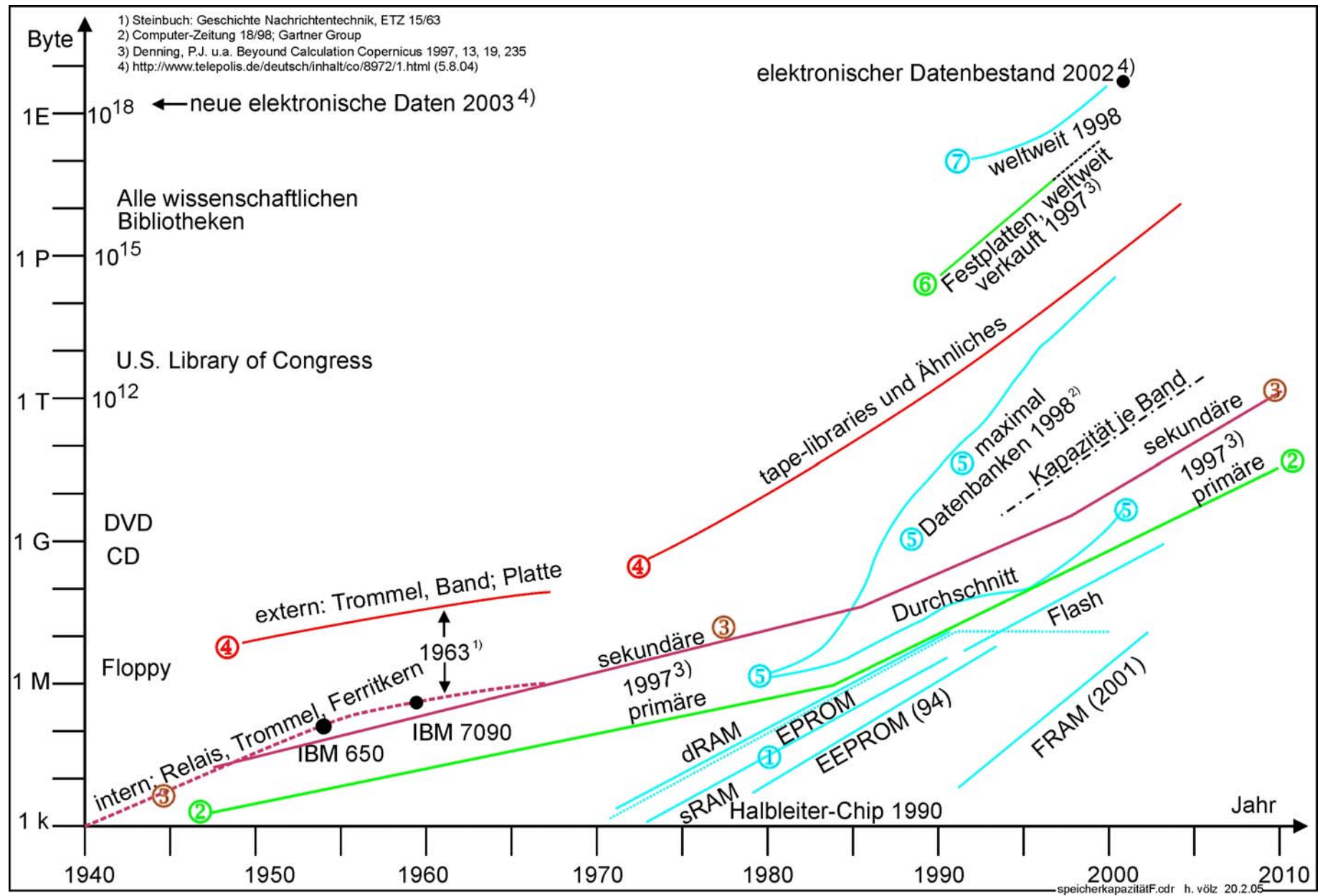
Anwendungsbezogene Einteilung

Für den zeitlichen Verlauf der Speicherkapazität (s. folgendes Bild) ist die folgende Einteilung günstig:

- ① **Halbleiterchips** erst ab etwa 1975 verfügbar: dRAM, sRAM, EPROM, EEPROM und Flash
- ② **Primäre Speicher = Arbeitsspeicher von Rechnern** erst mit Heimcomputer (ab ca. 1975) und PC (ab 1981), steiler Anstieg um 1985. Bei Großrechnern mit Elektronenröhren usw. zunächst ähnlich
- ③ **Sekundäre** = früher **interne** Speicher: Speicherausbau eines Rechners. Heute vor allem Festplatten
- ④ Für **Backups** usw. große Speichereinrichtungen mit eigenem Stellplatz oder gar speziellen Räumen. U.a. Roboter gesteuerte **tape-libraries**, Juke-Boxen, CD-ROM-Archiven usw. setzen ab 1975 Tendenzkurve von Großrechnern fort

Ergänzungen

- ⑤ **Datenbanken** fassen viele Fakten und Dokumente für Recherchen zusammen
- ⑥ Umfang der weltweit **verkauften Festplatten**
- ⑦ Weltweiter **elektronischer Datenbestand**, aber immer noch weitaus mehr Daten auf Papier, Mikrofilm vorhanden



Gliederung

1. Einführung
2. Stoff, Energie und Information
3. Evolution der Speicherung
- 4. Systematik der technischen Speicherung**
5. Möglichkeiten und Grenzen
muss noch bearbeitet werden:
6. Die technisch-elektronischen Varianten
7. Blick in die Zukunft
8. Literatur, Sachwort usw.

Überblick Systematik

Die Vielfalt der technischen Varianten ermöglichte es bisher nicht eine über längere Zeit gültige Systematik zu schaffen. Alle bisher bekannten Versuche waren unvollständig oder wurden durch die bald erfolgende Entwicklungen überholt. Hier wir daher nur ein Beispiel, nämlich die Anwendung der morphologischen Matrix nach ZWICKY vorgestellt. Als Ausgangsbasis dient ein 3-Stufen-Modell der üblichen Speicherung. So ergibt sich ein nützlicher Zusammenhang mit den physikalischen Grundlagen bezüglich der Koordinaten t , x , y , und z .

Wozu Systematik der Speicherung?

Es gab und gibt immer noch viele unterschiedliche technische Speicher.

Sie unterscheiden sich durch beachtlich viele **Parameter**, wie Speicherkapazität, Zugriffszeit, Datenrate, Volumen, Preis, Zuverlässigkeit, Datensicherheit, Off-, Online-Medien usw.

Zum Aufbau werden viele **physikalische Gebiete** benutzt, z. B. Elektronik (Halbleiter), Magnetismus (Bänder, Festplatten), Optik (Foto, Holografie), Optoelektronik (CD, DVD usw.) und künftig vielleicht Quantenphysik.

Das alles macht es schwierig, für eine **Anwendung** die jeweils **bestmögliche Variante** (Kompromiss) auszuwählen.

Im Laufe der geschichtlichen Entwicklung sind ständig **neue Verfahren** hinzugekommen und andere ausgestorben.

Auch heute ist möglich, dass neue Möglichkeiten entstehen, z. B. FRAM, MRAM und Nanoelektronik.

Für **Forschung und Lehre** ist es daher schwierig, den Überblick zu behalten und Prognosen abzugeben.

So ist es immer wieder versucht worden, eine geeignete (vollständige) Systematik der Speicher zu finden.

Doch die jeweiligen Ergebnisse wurden regelmäßig und schnell durch neue Speicherentwicklungen unbrauchbar.

Speichern ist offensichtlich so universell und vielfältig möglich, dass es immer wieder gelingt, neue Lösungen zu finden.

Fundamentale Speicherprozesse

Eine brauchbare Systematisierung der Speicherung geht von den fundamentalen **Speicherschritten** aus.

Dabei ist es sinnvoll (s. o.), zu speichernde **zeitabhängige Informationen, Signale** $f(t)$ anzunehmen.

Für die Speicherung müssen sie an **festgelegte Orte** $f(x, y, z)$ oder vereinfacht $f(x)$ fixiert werden.

Dieses Ergebnis wird allgemein als **Speicherzustand** bezeichnet.

Gegenüber vorher ist er **stofflich-energetisch** gekennzeichnet.

Erreicht wird er mittels des **Aufzeichnungsvorganges** $f(t) \rightarrow f(x, y, z)$ bzw. $f(t) \rightarrow f(x)$.

Manchmal muss der Speicherzustand anschließend noch **stabilisiert** werden (Fotografie Entwicklung zum Negativ).

Um den Speicherzustand zu nutzen, ist ein **Wiedergabevorgang** erforderlich $f(x, y, z) \rightarrow f(t)$ bzw. $f(x) \rightarrow f(t)$.

Aufzeichnung und Wiedergab bedürfen meist der **Auslösung** durch einen **Befehl** oder mittels Start-, Aufnahme- oder Wiedergabetaste.

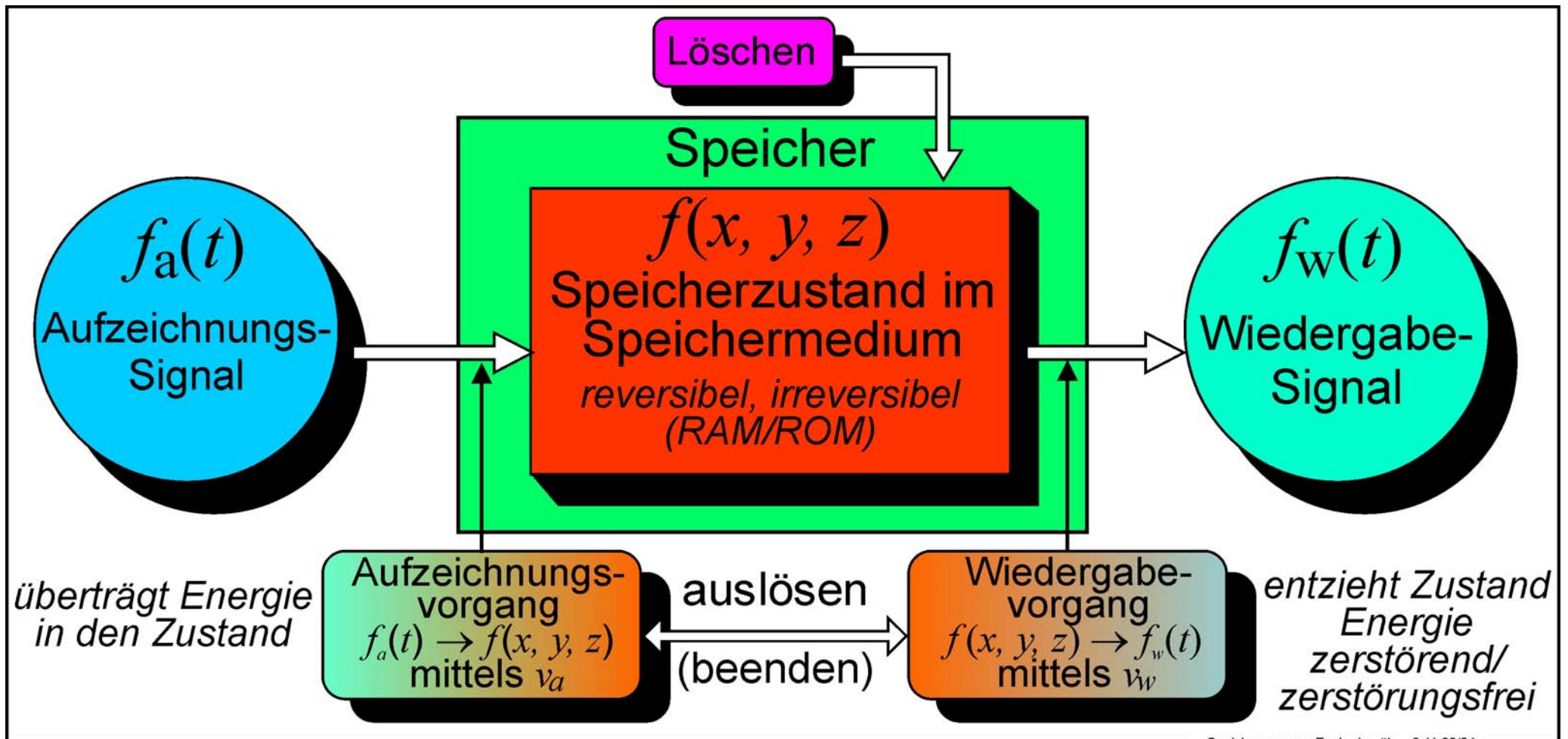
Bei einigen Speichermedien ist der Aufzeichnungsvorgang nicht individuell durchführbar. Er erfolgt bei der Herstellung. Solche Medien heißen **ROM** (read only memory). Ein typisches Beispiel sind Druckerzeugnisse.

Aufzeichnungs- und Wiedergabevorgang erfordern eine **Geschwindigkeit**, z. B. gemäß $v = x/t$.

Sie kann u. a. durch mechanische Bewegung (Bandspeicher, Festplatte), Adressierung (Halbleiterspeicher), Lichtablenkung (Holografie) oder mittels Laufzeit erfolgen.

Viele Speicherverfahren ermöglichen schließlich noch eine **Löschung** des Aufzeichnungszustandes.

In einigen Fällen darf – z. B. für einen zuverlässigen Nachweis – keine Löschung möglich sein.



SpeicherprozesseF.cdr h. völz 3.11.99/04

Physikalische Koordinaten

Zur Systematik gemäß den o. g. Prozessen sind die acht grundlegenden physikalischen Koordinaten nützlich:

Funktion	Erklärung	Beispiele
$f(x)$	koordinatenfrei	Zahlen, Messwerte, Daten
$f(x, y)$	1 Ortskoordinate	Weg, Schallplattenrinne
$f(x, y, z)$	2 Ortskoordinaten	Bild, Karte
	3 Ortskoordinaten	Denkmal, Architektur
$f(t)$	zeitabhängig	Signal, Sprache
$f(x, t)$	1 zeitabhängige Ortskoordinate	Belastung einer Straße
$f(x, y, t)$	2 zeitabhängige Ortskoordinaten	Film, Fernsehen
$f(x, y, z, t)$	3 zeitabhängige Ortskoordinaten	Theateraufführung

Die **grün** unterlegten Fälle sind für mögliche **Speicherzustände** wichtig.

Die **hellbraun** unterlegten entsprechen mehr den **Aufzeichnungs-, Wiedergabevorgängen**, z. T. auch der Löschung.

Morphologische Matrix

Jedes Speicherverfahren benutzt mehrere **Übergänge** zwischen den o. g. physikalischen Koordinaten.

Um alle möglichen Speicherverfahren zu beschreiben muss also jeder mögliche Übergang erfasst werden.

Das führt zu einer **8×8-Matrix**.

Dieses Prinzip wurde ursprünglich für besondere Probleme vom Astronomen FRITZ ZWICKY (1898 - 1974) entwickelt.

Er trug hierzu alle bekannten Verfahren ein. Die **verbliebenen Lücken** zeigten ihm neue Möglichkeiten auf.

Daher wurde von mir 1965 dieses Prinzip für die **Systematik** und das **Aufzeigen neuer Speicherverfahren** aufgestellt.

Neben den verschiedenen Speicherzuständen, Aufzeichnungs- und Wiedergabevorgängen enthält sie auch alle möglichen **Signalübertragungen** (hellblau).

Es zeigt sich beachtliche viele Prozesse für die kein Verfahren bekannt war (und ist).

Doch noch wichtiger war die Darstellung **vollständiger Speicherverfahren** aus der Abfolge Aufzeichnung, Zustand und Wiedergabe.

Doch unmittelbar nach der Publikation erschien der **elektronische Fotoapparat** (Still-Video).

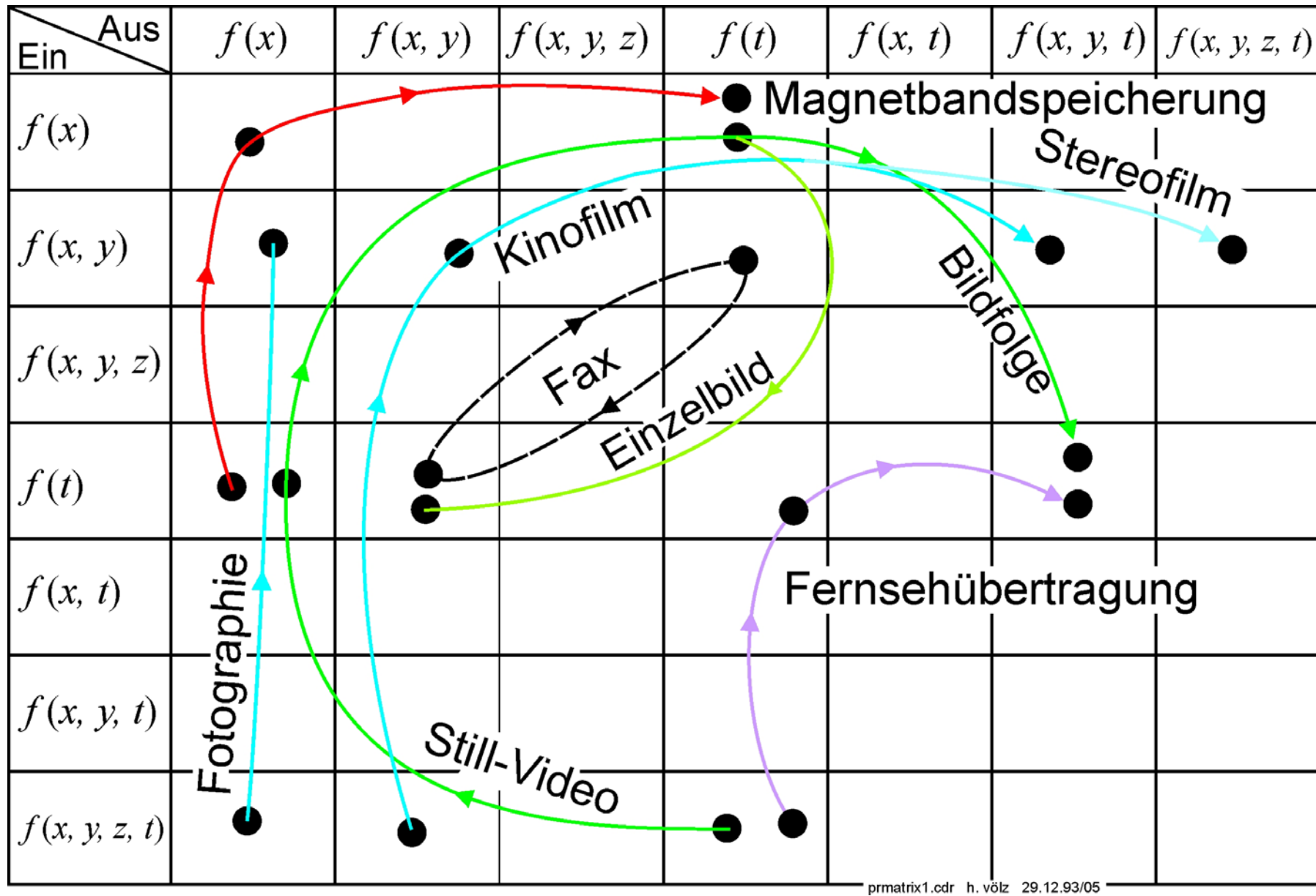
Er war unvermittelt da, ohne dass er mit diesem Verfahren vorausgesagt worden wäre!

Dennoch bleibt die Matrix für eine Systematik nützlich.

Völz, H.: Versuch einer systematischen und perspektivischen Analyse der Speicherung von Informationen. Die Technik 20 (1965) 10, 650 - 659

<i>Ein \ Aus</i>	ohne	$f(x)$	$f(x, y)$	$f(x, y, z)$	$f(t)$	$f(x, t)$	$f(x, y, t)$	$f(x, y, z, t)$
ohne	Formel	Daten- speicherung	Symbole, Ziffern, Buchstaben	Analytische Geometrie	Daten- übertragung			
$f(x)$	Ablesung von Zeiger- instrument	Daten kopieren	Histogramm		Wiedergabe von CD oder Schallplatte		Wiedergabe einer Video- aufzeichnung	Theater- aufführung
$f(x, y)$	Zeichen- erkennung	Bild- abtastung	Fotokopie, Buchdruck	Hologramm- Stereobild- wiedergabe	Scannen		klassischer Bewegfilm	Bau eines Gerätes oder Gebäudes nach Zeichnungen
$f(x, y, z)$	Koordi- naten- zahlen		Fotographie, Landkarte, Hologramm, Stereobild	Holographie	3D-Scan			
$f(t)$	Signal- abtastung	Signal- speicherung	Oszillo- gramm, Sonogramm		Signal- übertragung		Fernseh- wiedergabe	
$f(x, t)$			Weg-Zeit- Diagramm					
$f(x, y, t)$		Video- auf- zeichnung	klassischer Film als Bildfolge		Filmab- tastung			
$f(x, y, z, t)$		Roman	Foto- schnapp- schuss		mündlicher Bericht, Videosignal		Fernseh- übertragung	echter Stereofilm

sprmatrixF.cdr h. vözl 29.12.93/05



Die z. Z. wichtigsten technischen Speicherarten

Obwohl digital-elektronische Verfahren im Trend liegen, besitzen noch *zwei „klassische“* große Bedeutung:

- Der **Kinofilm** geht bereits deutlich zur elektronischen Form über. Bei der Aufnahme wird das durch das Fernsehen beschleunigt. Rein digitale Kinotheater sind dagegen noch selten.
- Ob und wann bei der **Buch- und Zeitungsproduktion** das E-Buch eine große Verbreitung erlangt ist noch unsicher. Doch die Herstellung der Druckwerke erfolgt fast ausschließlich digital elektronisch.

Die Vielfalt der **elektronischen Verfahren** hat sich in den letzten Jahren auf 3 reduziert:

1. Die **rein elektronischen** Verfahren auf Halbleiter-Basis:

- **d-RAM** als Arbeitsspeicher
- **Flash** statt der veralteten ROM und EPROM, ferner als Speicherkarten, USB-Sticks, und SSD (solid state disc).
- **s-RAM** sind relativ selten und kommen fast nur in Cash zur Anwendung.
- In der Zukunft könnten **neue Varianten**, u. a. als MRAM (magnetisch) und FRAM (ferroelektrisch) wichtig werden.

2. **Bewegte magnetische Speicher**, insbesondere als Festplatten und in den Archiven als tape-streamer.

3. **Optoelektronische Techniken**, wie CD, DVD und blu disc. Infolge der gewaltigen Kapazitäts-Steigerungen der ersten beiden Verfahren ist aber **ihr Ende abzusehen**.

Ob **deutlich andere Verfahren** in absehbarer Zeit oder überhaupt einen Durchbruch erreichen, ist ziemlich ungewiss. Zur Diskussion stehen hier u. a. neue Verfahren auf Nano-Basis, die Holografie und Quantenelektronik.

Gliederung

1. Einführung
2. Stoff, Energie und Information
3. Evolution der Speicherung
4. Systematik der technischen Speicherung

5. Möglichkeiten und Grenzen

muss noch bearbeitet werden:

6. Die technisch-elektronischen Varianten
7. Blick in die Zukunft
8. Literatur, Sachwort usw.

Überblick Möglichkeiten und Grenzen

Die Vielzahl der technischen Speicher ist durch eine größere Anzahl von Kenndaten gekennzeichnet. Dabei gibt es idealisierte Wünsche, theoretische Grenzen und jeweils zeitlich erreichte Kennwerte. Besonders wichtig sind die Energie für den Speicherzustand, die Speicherkapazität und Zugriffszeit. Zwischen den verschiedenen Kenngrößen gibt es meist komplizierte Zusammenhänge. Infolge der verbreiteten Vielfachspeicherung von Daten ist auch nach die Notwendigkeit von Speicherung zu klären

Eigenschaften technischer Speicher

Heutige technische Speicher gehen extern fast ausschließlich mit **digitalen Daten** um.

Die **alte Schallplatte** sowie analoge **Ton-** oder **Video-Geräte** benutzen fast nur noch Nostalgiker.

Intern sind aber in allen Speichern **analoge** (genauer kontinuierliche) Signale unvermeidbar.

Doch das interessiert nur noch Theoretiker und Entwickler.

So kann hier von digitalen Signalen bei der Aufzeichnung und Wiedergabe ausgegangen werden.

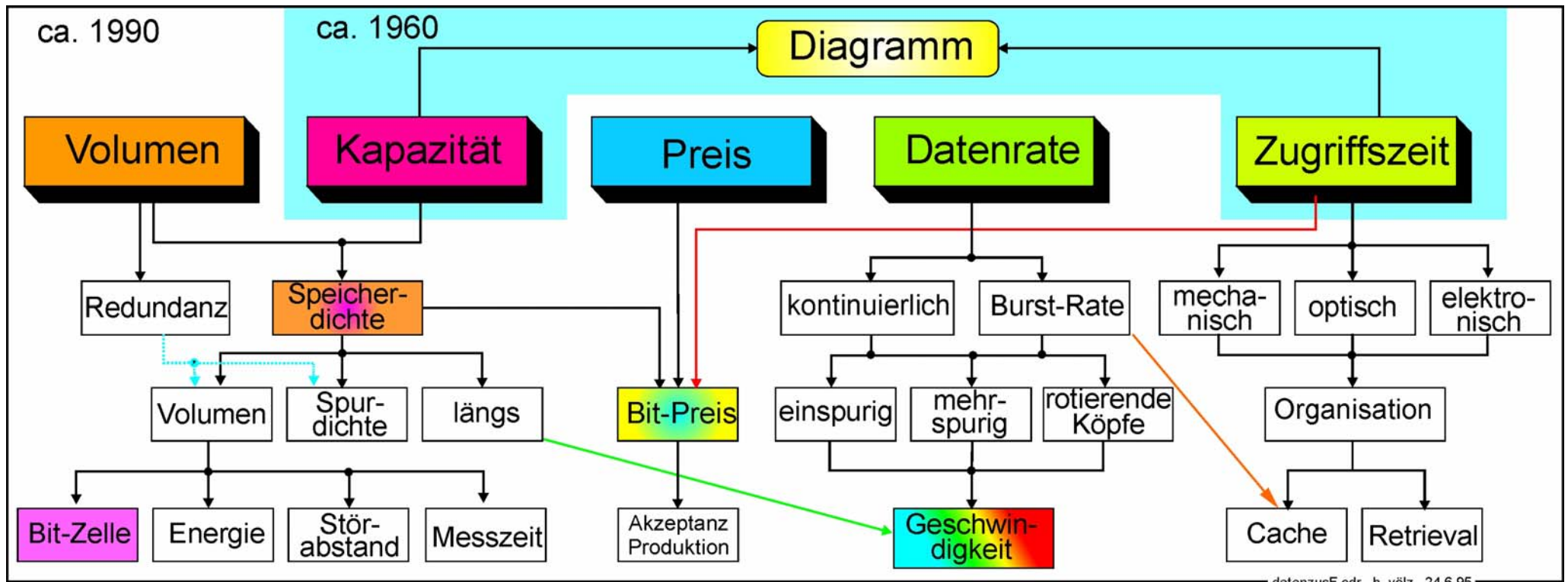
Für die folgenden allgemeinen Betrachtungen ist dadurch auch die Art der Signale weitgehend **unwichtig**.

Audio, Video, Datenverarbeitung, Messwerte und Mischungen von ihnen sind so im Prinzip völlig gleichberechtigt.

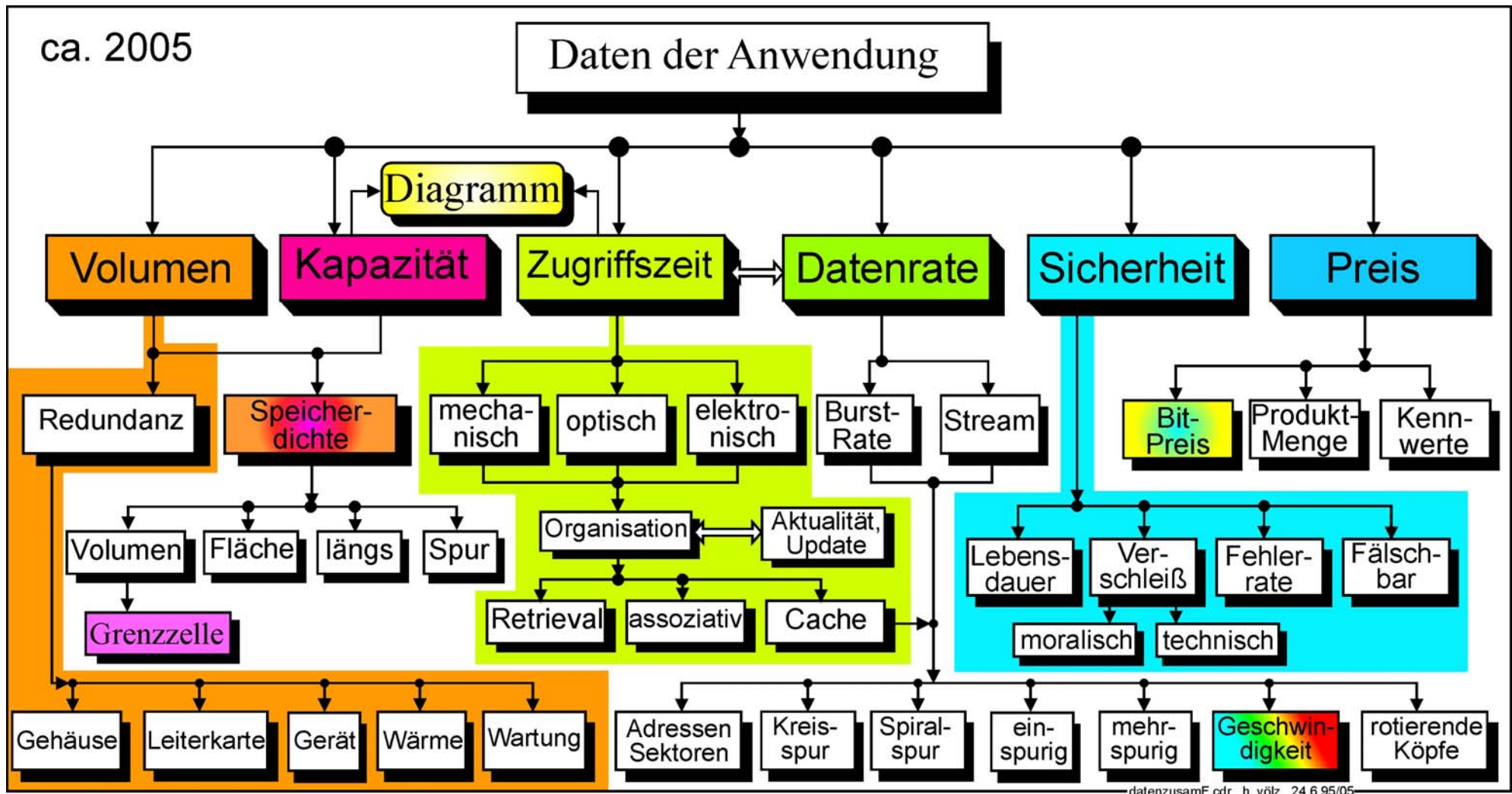
Interessant verbleiben nur die verschiedenen **Kenndaten**, wie Speicherkapazität, Zugriffszeit, Volumen, Preis usw.

Doch ihre Anzahl hat im Laufe der Entwicklung **deutlich zugenommen** und ist heute fast unübersehbar.

Dabei ist zu beachten, dass sie z. T. erheblich **voneinander abhängen**.



Bis etwa 1970 waren fast nur die **Speicherkapazität** und **Zugriffszeit** gefragt.
 Wegen fast ausschließlicher kommerzieller Nutzung war zunächst sogar der **Preis** untergeordnet.
 Bereits 1960 wurde der **Zusammenhang von Speicherkapazität und Zugriffszeit** gefunden (s. u.).
 Ab 1982 erlangte die **Datenrate** infolge der CD und speziell der CD-ROM größere Bedeutung.
 Mit den Heim-Computern wurde der **Preis** (je Bit) immer wichtiger.
 Mit wachsender Speicherkapazität wurde das auch größer werdende **Volumen** der Speicher immer wichtiger.
 Die restlichen Daten im Bild waren vor allem für **Entwickler und Techniker** bedeutsam.



Spätestens ab etwa 2000 erlangte die **Sicherheit** der Daten immer größere Bedeutung. Ansonsten nahmen vor allem die Kenndaten für Entwickler und Techniker deutlich weiter zu.

Möglichkeiten der Grenzen

Viele der Kenndaten lassen sich als Zahlenwerten angeben.

Ihre Größen ändern sich im Laufe der Entwicklung und hängen teilweise erheblich voneinander ab.

Für jeden Wert gib es unterschiedliche Grenzen, die in die folgenden 5 Stufen eingeteilt werden können:

1. Wünsche für den „**idealen**“ Speicher.
2. **Theoretisch erreichbare** (physikalische) Grenzwerte.
3. Zu einer bestimmten Zeit **technisch realisierte** Werte.
4. Für bestimmte **Anwendungen notwendige**, sinnvolle bzw. erforderliche Daten.

Die Reihenfolge ist so gewählt, dass die Leistungsfähigkeit der Speicher von 1. bis nach 4. abnimmt.

Die 5. Stufe ist erst kürzlich wichtig geworden, seitdem nämlich reichlich Speicherkapazität verfügbar ist.

Dadurch erfolgt unnötiges, mehrfaches Speichern, und es erhebt sich die Frage, was prinzipiell zu speichern ist.

1. Daten eines idealen Speichers

Die folgenden aufgeführten Daten betreffen formale, nicht zu erreichende Grenzwerte.

Eigentlich müssen – zumindest bei austauschbaren Medien – Daten von Gerät und Medium unterschieden werden.

Bezüglich der Wunschtendenz ist das jedoch nicht entscheidend.

Daher ist in der folgenden Tabelle darauf nur beim Energieverbrauch und dem Volumen hingewiesen.

Eigenschaft	Maßeinheit	anzustreben
Speicherkapazität	Bit	$\rightarrow\infty$
Zugriffszeit	Sekunden	$\rightarrow 0$
Fortlaufender Datenstrom	Bit/s	$\rightarrow\infty$
Aufzeichnungsdauer	Stunden	$\rightarrow\infty$
Volumen (Gerät und Medium)	m ³	$\rightarrow 0$
Daten-Aktualisierung, Update	Stunden	$\rightarrow 0$
Energieverbrauch (Gerät, Medium)	Watt	$\rightarrow 0$
Lebensdauer (Gerät, Medium)	Jahre	$\rightarrow\infty$
Fehlerrate	je Bit	$\rightarrow 0$
Datensicherheit, Betriebssicherheit	Jahre	$\rightarrow\infty$
Fälschbarkeit, Manipulierbarkeit	relativ	$\rightarrow 0$
Preis (total oder je Bit)	€	$\rightarrow 0$

2. Theoretische Grenzen: *Energie als wichtige Grundlage*

Nicht das *Informat* sondern nur der *Informationsträger* kann gespeichert werden.

Damit ist der *stofflich-energetische* Aspekt entscheidend.

Bei der Digitaltechnik ist jedes Bit in einer räumlich (zeitlich) abgegrenzten *Bit-Zelle* untergebracht.

Es muss sich deutlich stofflich-energetisch von den Nachbar-Bits unterscheiden.

Der dafür kleinstmögliche Wert sei die *Unterschiedschwelle*.

Letztlich entscheidend ist jedoch der Unterschied bei der *Wiedergabe*, die einer *Messung* entspricht.

Hierzu muss die Wiedergabe-Einrichtung energetisch mit der Bit-Zelle *wechselwirken*.

Zumindest muss dabei die *HEISENBERG-Unschärfe* überschritten werden.

Eventuell kann so die Eigenschaft (Unterschied) des Bits (0/1) verloren gehen, das bedeutet *zerstörende Wiedergabe*.

Eventuell ist dann ein energetisches *Refresh* für den vorigen Zustand erforderlich.

Andernfalls kann nur eine *geringere Energiemenge* aus der Bit-Zelle entnommen werden.

Fast immer ist das von Bitzelle zu gewinnende Wiedergabesignal so klein, dass eine *Verstärkung* notwendig ist.

Bei der *Aufzeichnung* muss in die jeweilige Bit-Zelle mindestens die Unterschieds-Energie eingebracht werden.

Der *Speicherzustand* der Bit-Zelle muss gegenüber *Störungen* hinreichend sicher und lange bestehen.

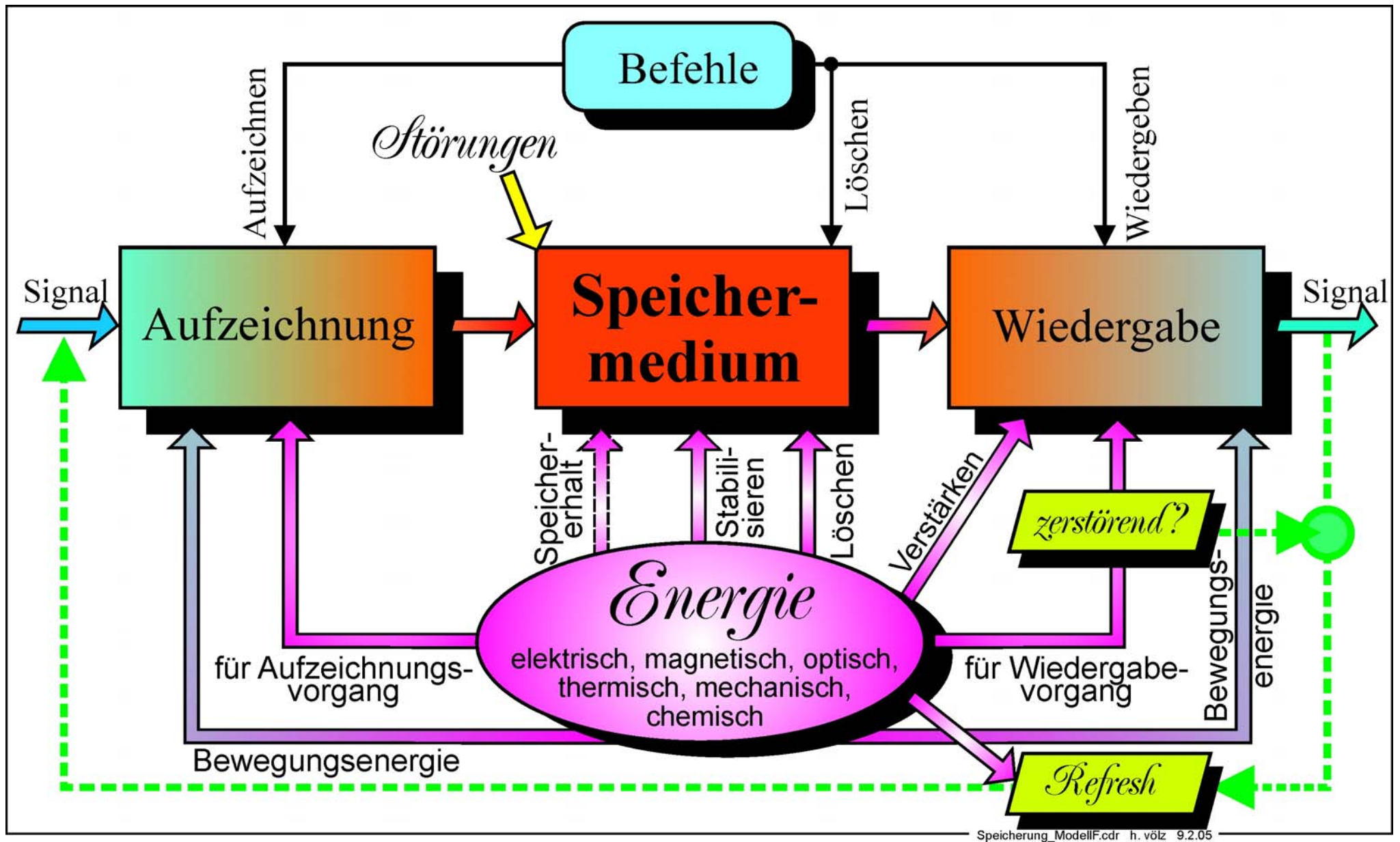
Das gilt vor allem bezüglich der thermischen Energie, aber bezüglich Strahlungen, mechanische Verformungen usw.

Teilweise ist hierzu nach der Aufzeichnung eine weitere Energie zur *Stabilisierung* erforderlich.

Für ein *Löschen* muss der Bit-Zelle Energie zugeführt werden, die sie in den unbestimmten Zustand zurückversetzt.

Bei der Aufzeichnung und Wiedergabe muss auch die Bit-Zelle mittels *Bewegungsenergie* gewechselt werden.

Einige Besonderheiten betreffen noch die *Umlaufspeicher* (s. ##)



Notwendige Energie je Bit

Für eine Bitzelle kann der energetische Unterschied ΔE für 1 Bit auf vielfältige Weise erzeugt werden:

- Es kann sich dort **ein oder kein Teilchen** befinden; kleinstmöglich ist dann u. a. ein Elektron, Atom oder Molekül.
- Auch ein bestimmter **Quantenzustand** des Teilchens, wie Anregungen, Spin usw. ist möglich.
- Ähnliches gilt für **Quantenenergie** entsprechend $\Delta E = h \cdot \nu$ (Photon) bzw. $\Delta E = m \cdot c^2$.
- Wesentlich größer wird meist eine mechanische Bewegungsenergie sein $\Delta E = m \cdot v^2/2$.

In jedem Fall muss dabei die Energie groß gegenüber der (zer-) **störenden thermischen Energie sein** (s. u.).

Eine bewusst vereinfachte Betrachtung ist mittels eines zweifach entarteten Systems möglich (Bild).

Vor der Messung (Wiedergabe) liegt die „Kugel“ mit der Wahrscheinlichkeit $w = 1/2$ in einem der beiden Zustände.

Gemäß BOLTZMANN-Gleichung gilt dann für die Entropie

$$S_{Vor} = k \cdot \ln(1/2) = -k \cdot \ln(2).$$

Nach der Messung steht die Lage der Kugel (Zustand) fest ($w = 1$), und daher gilt

$$S_{Nach} = k \cdot \ln(1) = 0.$$

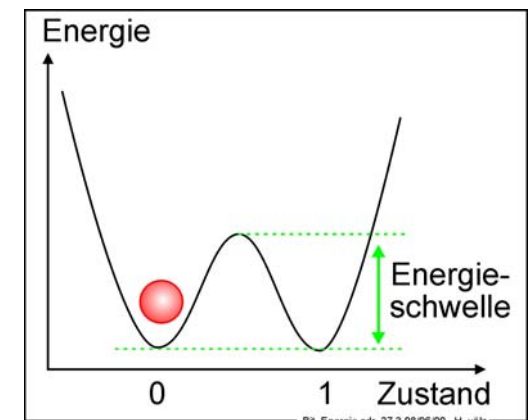
Die Entropie-Änderung ΔS zwischen beiden muss für ein 1 Bit genügen.

Mit der absoluten Temperatur T , ergibt sich daher die die Energie je Bit zu:

$$\Delta Q = \Delta E = \Delta S \cdot T = k \cdot T \cdot \ln(2).$$

Bei Zimmertemperatur ≈ 300 K beträgt $\Delta E/\text{Bit} \approx 3 \cdot 10^{-21}$ J bzw. 0,02 eV; für Photonen folgt $4 \cdot 10^{12}$ Hz bzw. $\lambda \approx 70 \mu\text{m}$.

Nur für Tieftemperaturspeicher sind deutlich kleinere ΔE zulässig!



Abschätzung gemäß der SHANNON-Kanalkapazität

Die je Bit erforderliche Energie ΔE kann aus mittels der SHANNON-Informationstheorie abgeleitet werden.

Hier kann sogar mit kontinuierlichen (analogen) Werten gerechnet werden.

Der Übertragungskanal (Wiedergabe) besitze die Bandbreite B .

Mit der BOLTZMANN-Konstanten $k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K beträgt seine thermische Störleistung $P_S = k \cdot B \cdot T$.

Die Nutzleistung sei z -mal größer, also $P_N = z \cdot P_S$. Für die Kanalkapazität gilt dann

$$C = B \cdot \text{ld} \frac{P_N + P_S}{P_S} = B \cdot \text{ld}(1 + z).$$

Daraus folgt ΔE in Watt je Bit/s = Joule je Bit zu

$$\frac{P_N}{C} = k \cdot T \cdot \frac{z}{\text{ld}(1 + z)}.$$

Der Einfluss des Faktors z kann mittels einer Reihenentwicklung eingegrenzt werden.

$$\frac{z}{\ln(1 + z)} = \frac{1}{1 - \frac{z}{2} + \frac{z^2}{3} - \frac{z^3}{4} \pm \dots}. \text{ Es folgt } 1 \leq \frac{z}{\ln(1 + z)} \rightarrow 1 \text{ für } z \rightarrow 0.$$

Für den Grenzfall $z \rightarrow 0$ ergibt sich dann wieder die für 1 Bit notwendige Energie zu (Achtung! $\ln \rightarrow \text{ld} \Rightarrow \ln(2)$)

$$\frac{\Delta E}{\text{Bit}} \geq k \cdot T \cdot \ln(2).$$

Notwendigkeit eines Störabstandes

Entsprechend der SHANNON-Theorie erfordert die theoretische Grenze $z \rightarrow 0$ eine unendliche lange Dekodierzeit

Das ist technisch nicht nutzbar.

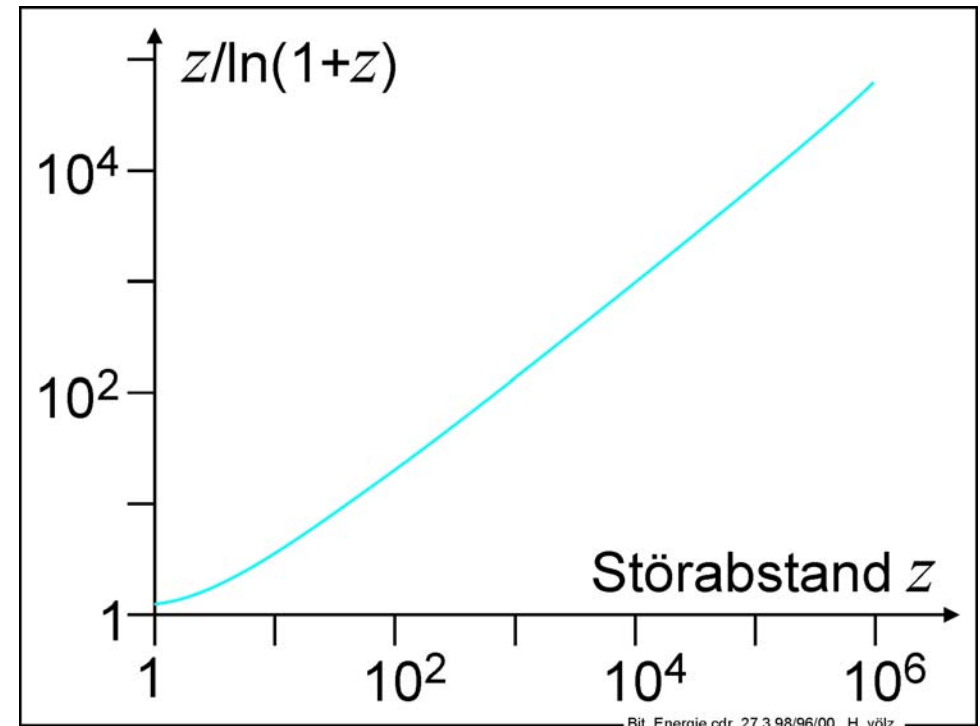
Gemäß dem korrekten Ausdruck

$$\frac{z}{\ln(1+z)}$$

kann der technisch notwendige Störabstand berücksichtigt werden (s. Bild).

Z. B. erfordern 40 dB ($z = 10^4$) eine etwa hundertfache Energie.

Für tiefe Temperaturen sinkt auch in diesem Fall die Minimalenergie ΔE mit der absoluten Temperatur T .



Beständigkeit des Speicherzustandes

Auf den Speicherzustand wirken immer gewisse **Störungen** ein. Die wichtigsten sind:

- **Thermodynamische Energie** mit MAXWELL-Verteilung
- **Tunneleffekt**, z. B. Radioaktivität
- **Verzögerter Rückfall** infolge eines nicht senkrechten Übergangs z. B. bei Lumineszenz; (Laser!).

Überschreitet deren Energie – selbst kurzfristig – die **Energieschwelle ΔE** so wird der **Speicherzustand** zerstört.

Bezüglich der meisten Störungen gilt die ARRHENIUS-Gleichung von 1896 (SVANTE AUGUST ARRHENIUS; 1859 - 1927).

Für Speicher die Halbwertszeit (50 % Wahrscheinlichkeit) gilt dabei:

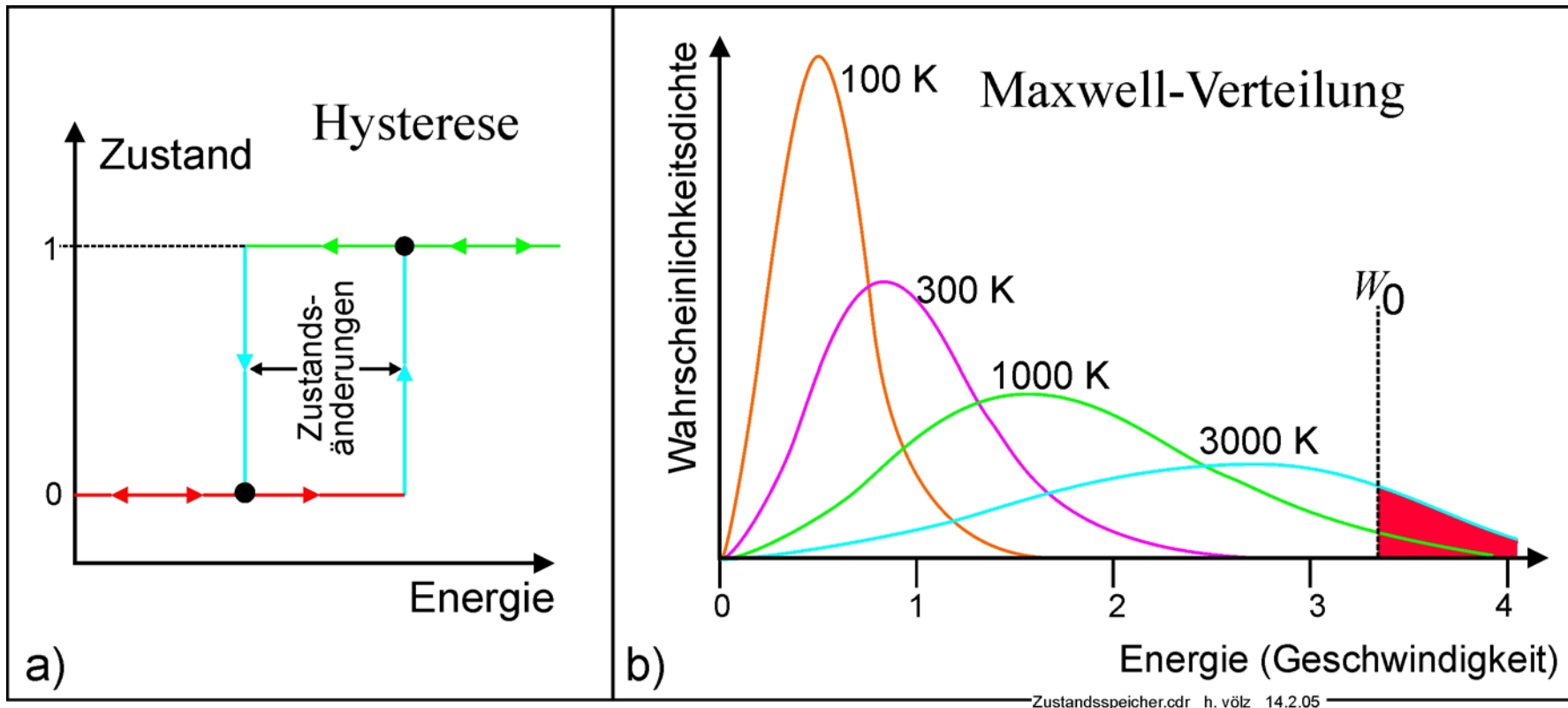
$$t_H = t_0 \cdot e^{\frac{\Delta E}{k \cdot T}}$$

Es bedeuten: T = absolute Temperatur, $k \approx 1,36 \cdot 10^{-23}$ J/K = BOLTZMANN-Konstante.

Die Zeitkonstante t_0 beträgt für Elektronenbahnen $\approx 3 \cdot 10^{-15}$ s und für Gitterschwingungen $\approx 10^{-4}$ s.

Infolge der Exponentialfunktion gibt selbst bei nur thermischen Störungen **keinen absolut sicheren Speicherzustand**.

Es gibt immer einige, wenn meist auch sehr wenige **Teilchen** mit entsprechend hoher **Energie**.



Alle Teilchen mit $\Delta E \geq W_0$ können den Speicherzustand verändern.
 Zur Vereinfachung der Berechnung wird für das Speichermaterial eine rechteckige Hysterese angenommen.

Zur Fehlerrate

Die Halbwertszeit entspricht 50 % Datenverlust. Die nutzbare Speicherzeit ist also sehr viel kleiner.

Sie wird besser durch eine **Fehlerrate** beschrieben.

Es gelte die MAXWELL-BOLTZMANN-Verteilung von 1860 (JAMES CLERK MAXWELL; 1831 – 1879):

Sie setzt voraus ein ideales Gas mit einer Molekülsorte der Masse m .

Teilchen mit der Energie W besitzen dann die relative Wahrscheinlichkeit

$$f(W) \cdot dW = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (k \cdot T)^{-\frac{3}{2}} \sqrt{W} \cdot e^{-\frac{W}{k \cdot T}} dW.$$

Das Maximum der Geschwindigkeitsverteilung (Energie-Maximum) liegt bei

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot T}{m}} \quad \text{bzw.} \quad W_{\max} = k \cdot T.$$

Bei idealer Rechteck-Hysterese gefährden den Speicherzustand nur durch Teilchen mit $W \geq W_0 = \Delta E$.

Für die Fehlerwahrscheinlichkeit ist über alle Teilchen mit einer $W \geq W_0$ zu integrieren

Sie entspricht der Fläche des „Schwanzes“ unter der Verteilungskurve (rot im Bild):

$$F(\geq W_0) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{W_0}{k \cdot T}} \cdot e^{-\frac{W_0}{k \cdot T}}.$$

Die **Fehlerrate** kann somit bei tiefen Temperaturen und großem ΔE **sehr klein werden**.

Energiedichte

Eine Energie bzw. Energieträger verlangt immer ein Volumen bzw. eine Stoffmasse.

Damit gehört auch zur kleinstmöglichen Energie je Bit ein kleinstmögliches Volumen bzw. Masse.

Die Energiedichte ist erheblich von der Stoff- und von der Energieart abhängig.

Hierzu gibt es eine umfangreiche Skala, die das nächste Bild zeigt.

Untersuchungen an vielen Materialien zeigten:

Für alle klassisch physikalischen Verfahren gibt es eine Obergrenze von $E \leq 0,5 \text{ J/cm}^3$.

Z. B. ist in einem **magnetische Material** auch nicht **theoretisch** mehr Energie in unterzubringen.

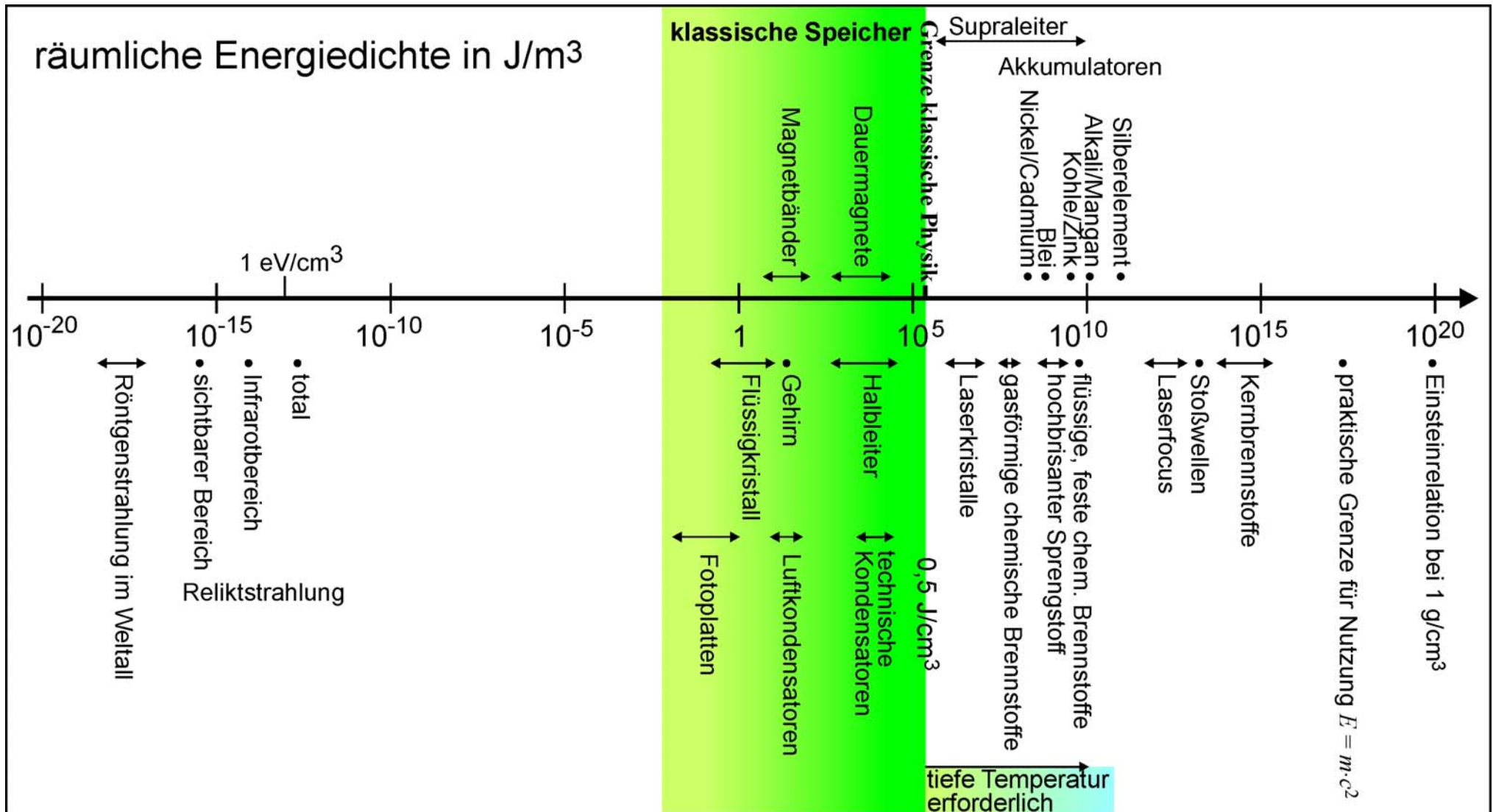
Höhere Werte führen zur Zerstörung des Materials.

Z. B. Bei Kondensatoren erfolgt dann ein **Durchschlag** bei allen bekannten Dielektrika.

Umgerechnet sind mindestens rund **1000 Atome** oder Moleküle notwendig $\rightarrow$ Volumen etwa 10^{-20} cm^3 .

Nur bei sehr tiefen Temperaturen sind kleinere Werte möglich.

Darunter treten **Quanteneffekte** auf, die keine stabile Speicherung mehr zulassen.



Grenzen der Aufzeichnung

Bei der **Aufzeichnung** muss die Energie so gut **konzentriert** werden, dass sie **nur für ein Bit-Volumen** wirksam ist. Nur drei Aufzeichnungsverfahren ermöglichen heute eine besonders hohe Konzentration:

- Die **Mikroelektronik** ermöglicht entsprechend den Linienbreiten um 30 nm eine Bit-Fläche $\geq 1 \mu\text{m}^2$. Dazu gehören jedoch Waferdicken um 100 μm . Das ergibt ein Volumen um **100 μm^3** und daher **10^{16} Bit/ m^3** .
- Der **magnetische Spalt** ermöglicht technologisch Weiten bis $\approx 0,1 \mu\text{m}$. Dazu gehören aber Spatllängen $\geq 10 \mu\text{m}$ und Banddicken $\geq 30 \mu\text{m}$. Das ergibt ein etwas geringeres Volumen von **30 μm^3** mit **$3 \cdot 10^{16}$ Bit/ m^3** .
- Die **Optik** ist prinzipiell durch das Brennvolumen begrenzt. Hierbei ist die Beugungsgrenze von der Wellenlänge λ abhängig. Die folgende Abschätzung führt hier zu dem wesentlich kleinerem Volumen von **$\approx 500 \text{ nm}^3$** und **$\approx 10^{22}$ Bit/ m^3** . Sie setzt eine echte Speicherung im Volumen voraus, die wohl nur mit der **Holografie** möglich ist.

Es ist zu beachten, dass diese Grenzen ähnlich für die **Wiedergabe** gelten.

Zusätzlich muss dabei jedoch gesichert sein, dass genügend Energie zur Wandlung in störarme elektrische oder optische Signale genutzt werden kann.

Infolge des Wirkungsgrades der Wandler und einer eventuell nicht zerstörenden Wiedergebe ist häufig aber nur kleiner Anteil nutzbar (Magnetooptik sogar nur 10^{-3}).

In der **Zukunft** könnten eventuell u. a. nichtlineare Optik, nichtklassische Beugung, Elektronenstrahlen, Tieftemperaturtechnik, Nanotechnologie, Quantenphysik, Biologie usw. zu weiteren und besseren Möglichkeiten beitragen.

Exkurs: Grenze der optischen Energiedichte

Bei einer Apertur A_n und Wellenlänge λ gilt für den Brennfleckdurchmesser d und die Brennflecklänge l :

$$d \approx 0,6 \cdot \lambda / A_n, \quad l \approx \lambda \cdot A_n$$

Damit ist das **Beugungsvolumen** $V_{Bg} = d^2 \cdot l$ unabhängig von der Apertur:

$$V_{Bg} \approx 0,36 \cdot \lambda^3$$

Ein einzelnes **Photon** der Frequenz ν besitzt mit der Lichtgeschwindigkeit $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s und der PLANCK'schen Konstanten $h \approx 3,74 \cdot 10^{-16}$ W die **Energie**

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}.$$

Im Beugungsvolumen V_{Bg} herrscht daher die mittlere **Energiedichte**, bzw. nach λ aufgelöst:

$$w = \frac{E}{V_{Bg}} = \frac{h \cdot c}{0,36 \cdot \lambda^4} \cdot \rightarrow \lambda \approx \sqrt[4]{\frac{h \cdot c}{w}}.$$

Die Energiedichte muss für die Aufzeichnung mindestens die Energiedichte im Speichermedium erreichen.

Bei der klassischen Grenze ($w \geq 0,5 \text{ J/cm}^3$) folgt dafür die kürzeste anzuwendende Wellenlänge zu **25 nm** (fernes UV).

Dieser Wert führt zum Grenzvolumen $\approx 500 \text{ nm}^3$ und zu einer Speicherdichte $\approx 10^{22} \text{ Bit/m}^3$

Messzeiten

Bei der Wiedergabe ist eine Wechselwirkung zwischen dem Speicherzustand und dem Mess-, Wiedergabegerät wichtig. Gemäß der HEISENBERG-Unschärfe ist neben der Energie auch die Messzeit Δt zu berücksichtigen:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h.$$

Darin bedeutet $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s die PLANCK-Konstanten.

Mit den obigen Gleichungen folgt dann

$$\Delta t \geq \frac{h}{k} \cdot \frac{\ln(1+z)}{T \cdot z} \approx \frac{6,9 \cdot 10^{-11}}{T \cdot z}.$$

Für die Zimmertemperatur ($T \approx 300$ K) und den Störabstand 40 dB ($z \approx 100$) folgen $\approx 2 \cdot 10^{-15}$ s.

Diese Zeit ist deutlich kürzer als alle heute technisch nutzbaren Möglichkeiten.

WERNER KARL HEISENBERG (1901 – 1976). MAX KARL ERNST LUDWIG PLANCK (1858 – 1947).

LUDWIG BOLTZMANN (1844 – 1906). CLAUDE ELWOOD SHANNON (1916 – 2001).

Die Grenzzelle

Aus Energiedichte, Unterschiedsstufen und Messkopplung folgt insgesamt die Grenzzelle der Speicherung.

Sie besitzt die Dimension einer **Wirkung** ($W \cdot s^2 = J \cdot s$), ist also ein **Produkt aus Energie und Zeit**

Technisch ist so etwas bzgl. des Produktes **Schaltleistung** $\times$ **Schaltzeit** bei elektronischen Schaltungen bekannt.

Daher sind hohe Geschwindigkeit und Speicherdichte sind nicht gleichzeitig zu fordern (s. S. ###).

Eine Größe wächst auf Kosten der anderen, **Optimierung** ist notwendig!

Ferner gilt: Je tiefer die **Temperatur** desto größer kann das Produkt aus Speicherdicht und Geschwindigkeit sein

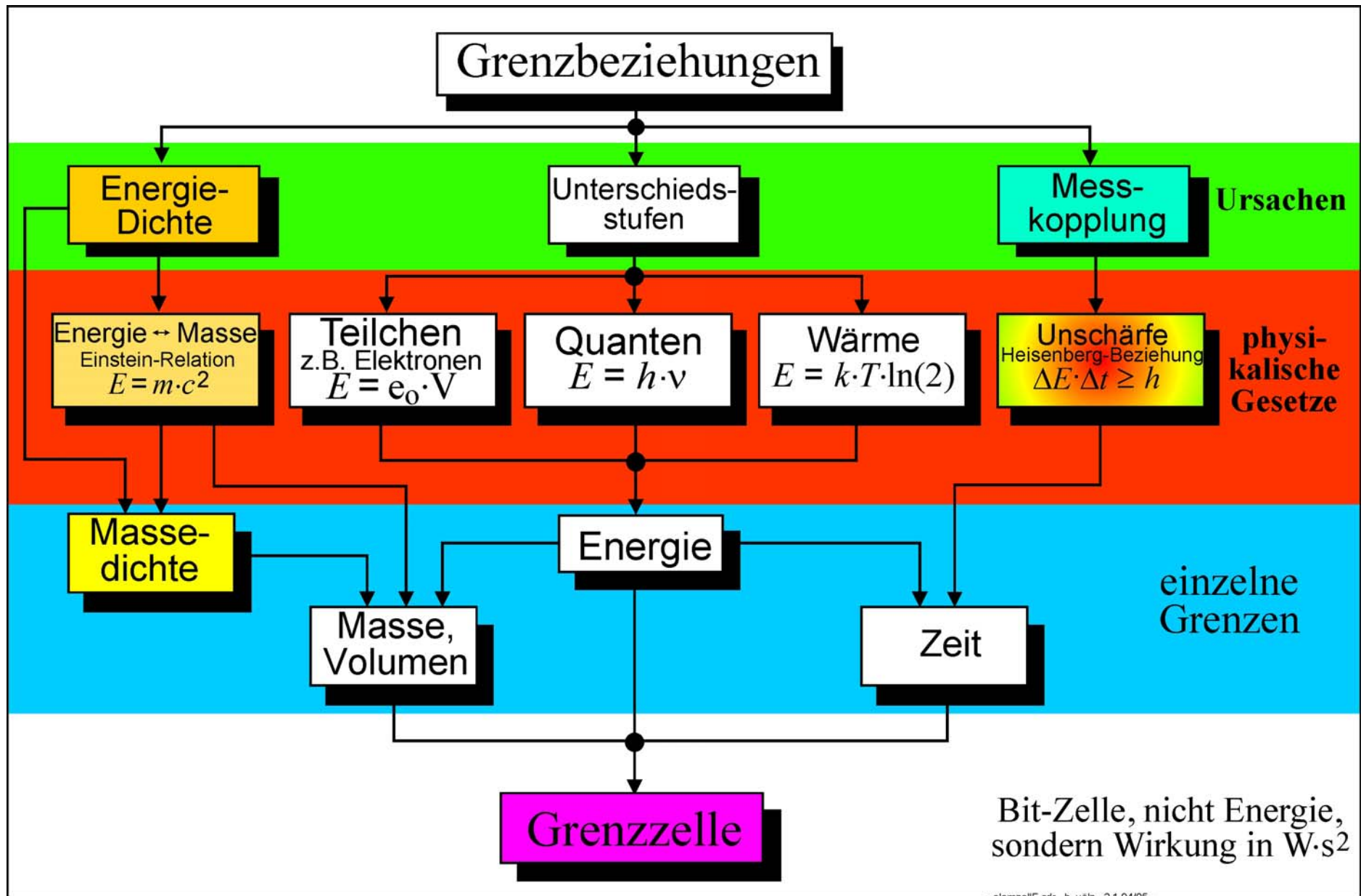
Das folgende Bild enthält noch weitere Zusammenhänge, z. B.:

Die **Massedichte** mit Werten um 0,1 und 10 g/cm³ liegt und der theoretischen Grenze: EINSTEIN-Beziehung $E = m \cdot c^2$

Anmerkung: ERWIN SCHRÖDINGER (1887 – 1961) fragte in „Was ist Leben“ und fand dafür keine Antwort:

Wieso sind die Nukleinsäuren (DNS) bei ihren sehr geringen **Energie-Schwellen** über eine hinreichend lange Zeit stabil?

Möglich Antwort: Wegen der Grenzzelle gehört dazu die sehr „langsame“ Duplikation (≤ 2000 Sequenzen/s).



Vergleich der Grenzen

Theoretisch ergeben sich folgende Grenzen für

Speicherzustand ließe gemäß den 1000 Atomen $\approx 10^{26} \text{ Bit/m}^3$ erreichen.

Aufzeichnung ermöglicht für $\lambda \rightarrow 0$ eine ∞ Speicherdichte

Infolge der Energiedichte und Bündelung von Licht wären mit 25 nm $\approx 10^{22} \text{ Bit/m}^3$ möglich.

Wiedergabe verringert infolge des Wirkungsgrades des Wandlers und dem nötigen Störabstand den Wert etwas.

Um den Ort des Speicherzustandes zu finden dürfte der Wert auf $\approx 10^{20} \text{ Bit/m}^3$ absinken.

Entsprechend der äquivalenten Messung gilt $\Delta t \cdot \Delta E \geq h$. Das führt zu einer Messzeit von $> 10^{-13} \text{ s}$.

Daher gilt für die Speicherdichte, und das sogar ziemlich allgemein:

$$\text{Aufzeichnung} \geq \text{Speicherzustand} \geq \text{Wiedergabe}$$

Alle o. g. Werte liegen um *viele Größenordnungen* über dem heute technisch *Erreichten*.

Langfristig bestehen daher *erhebliche Reserven*. Sie sind jedoch schwer auszunutzen.

Denkbar ist es auch, dass sie die theoretischen *Grenzen* noch durch zukünftige Varianten *verschieben* lassen:

Für den *Speicherzustand* könnten das *Tiefemperatur-* und *Quanten-*Physik ermöglichen.

Für die *Energiekonzentration* sind es die Kombination von *Magnetspalt und Magnetooptik*, Nichtlineare Optik, nichtklassische Beugungsverfahren, Elektronenstrahlen und Tunnelkraftmikroskop.

3. Technisch realisierte Werte

Fast alle jeweils erreichten Werte nehmen um **viele Größenordnungen** in Verlauf der Zeit zu.

Dabei verbessern sich die einzelnen Parameter recht unterschiedlich.

Bezüglich der **Grenzzelle** gibt es nur sehr wenige Daten.

Hier ist es lediglich möglich, die jeweils je Bit benutzte **Anzahl der Atome** oder Moleküle abzuschätzen.

Für sie wurde der theoretische **Grenzwert** in Einzelfällen bereits um 2010 erreicht.

Auch hiernach müsste bereits heute eine **total neue Technologie** bekannt sein.

Doch – wie oben bereits gezeigt – sind dafür bestenfalls einige Varianten angedacht.

Genauere Aussagen sind zur **flächigen** und **linearen Speicherdichte** möglich.

Um zum Bit/Volumen überzugehen sind Untersuchungen zur **räumlichen Redundanz** notwendig.

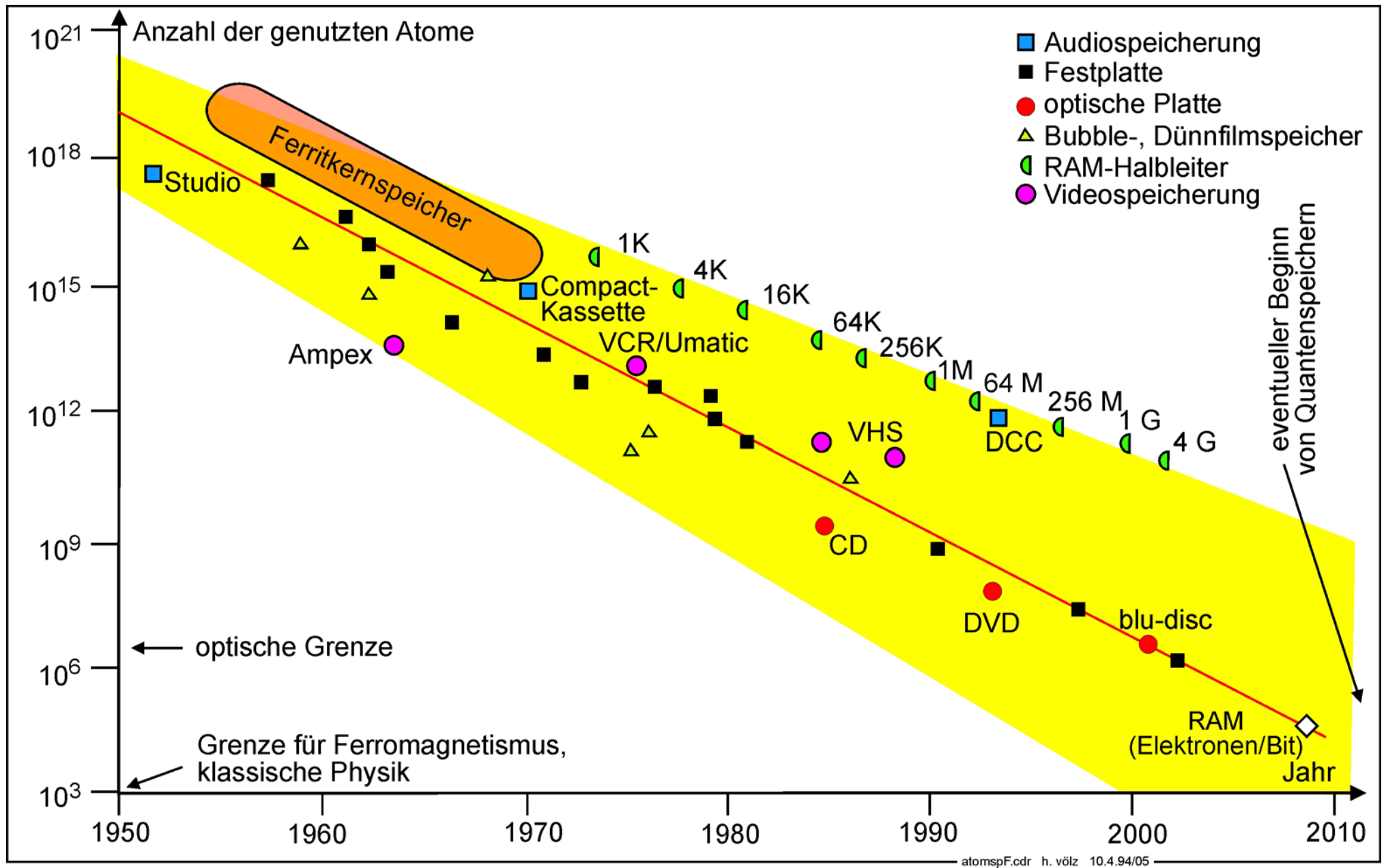
Sie wird entscheidend durch technisch **notwendige Maßnahmen** und erforderliche „**Freiräume**“ bestimmt.

Eine Abschätzung führt zum Ergebnis, dass als Komplex **maximal 1 m³ Speichervolumen** möglich sein dürfte.

Bedeutsam ist auch der Zusammenhang von **Speicherkapazität und Zugriffszeit** sowie seine zeitliche Entwicklung.

Die Zunahme von Speicherkapazität, Abnahme des Bit-Preis und Fehlerrate zeigt **sehr steilen Verläufe**.

Sie sind noch deutlich steiler als in sonstigen der Technik.



Speicherdichte

Die *genutzten Atome* entsprechen einem *Volumen*.

Jedoch außer der Holographie sind alle Speicher nur an der *Oberfläche nutzbar*.

Sie muss durch zusätzliche Maßnahmen *stabil* gehalten werden.

Das sind z. B. der *Wafer*, der *Polyesterträger* des Bandes oder Floppys oder die *Glasplatte* der Festplatte.

Alle technischen Angaben der Speicherdichte beziehen sich daher auf die Oberfläche in *Bit/mm²* oder Bit/inch².

Z. B. bei der Halbleitertechnik und der Fotografie ist auf der Oberfläche *keine Richtung* ausgezeichnet.

Dann genügt sogar eine Angabe in *Bit/mm* bzw. Linienbreite als Auflösung.

Bei *magnetischen Verfahren* sind dagegen die Speicherdichte in Spurrichtung und Spurabstand verschieden.

Der Spurabstand wird durch die *Spaltlängen* und das *Wiederfinden* erheblich begrenzt.

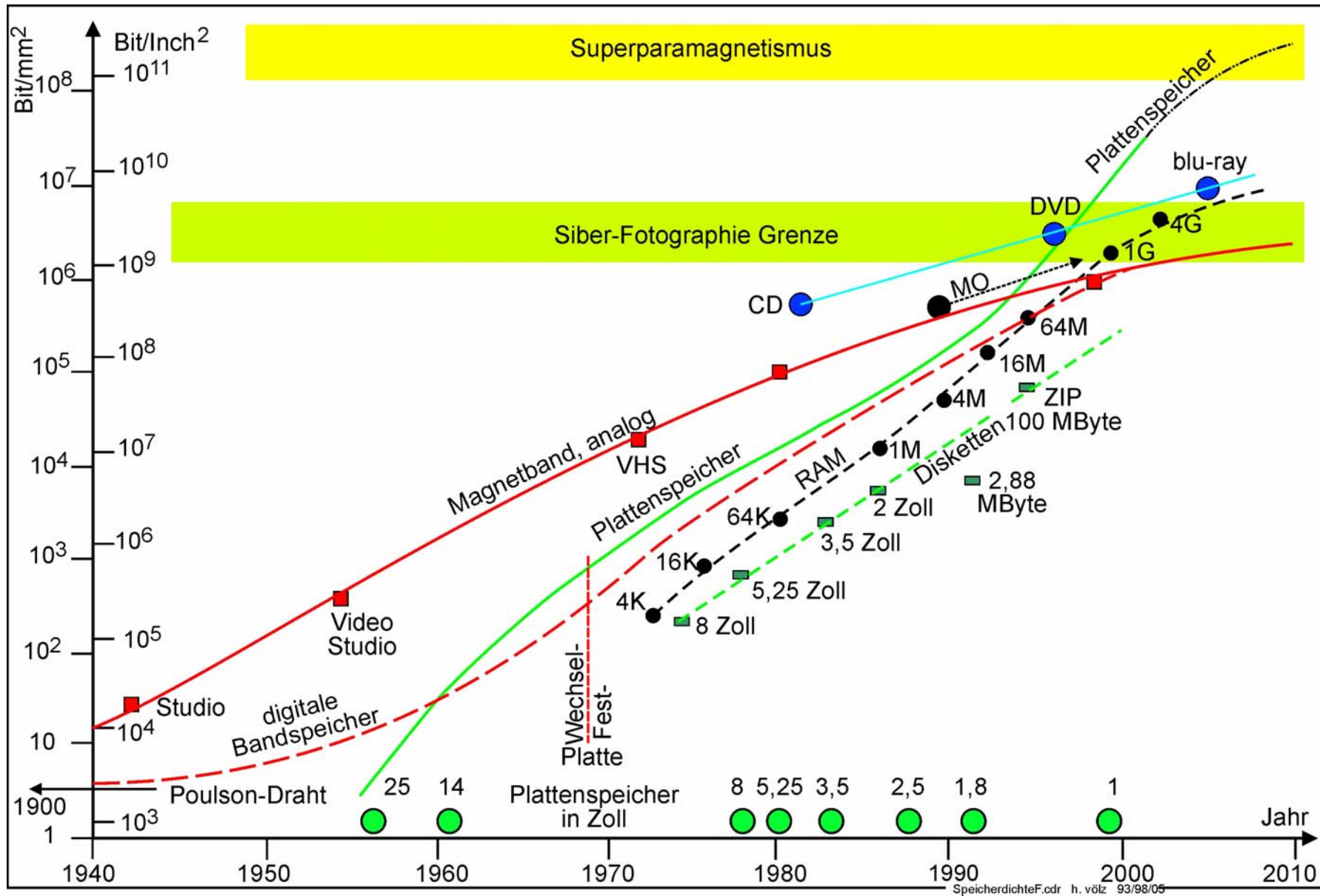
In dieser Richtung sind Steigerungen erheblich schwieriger.

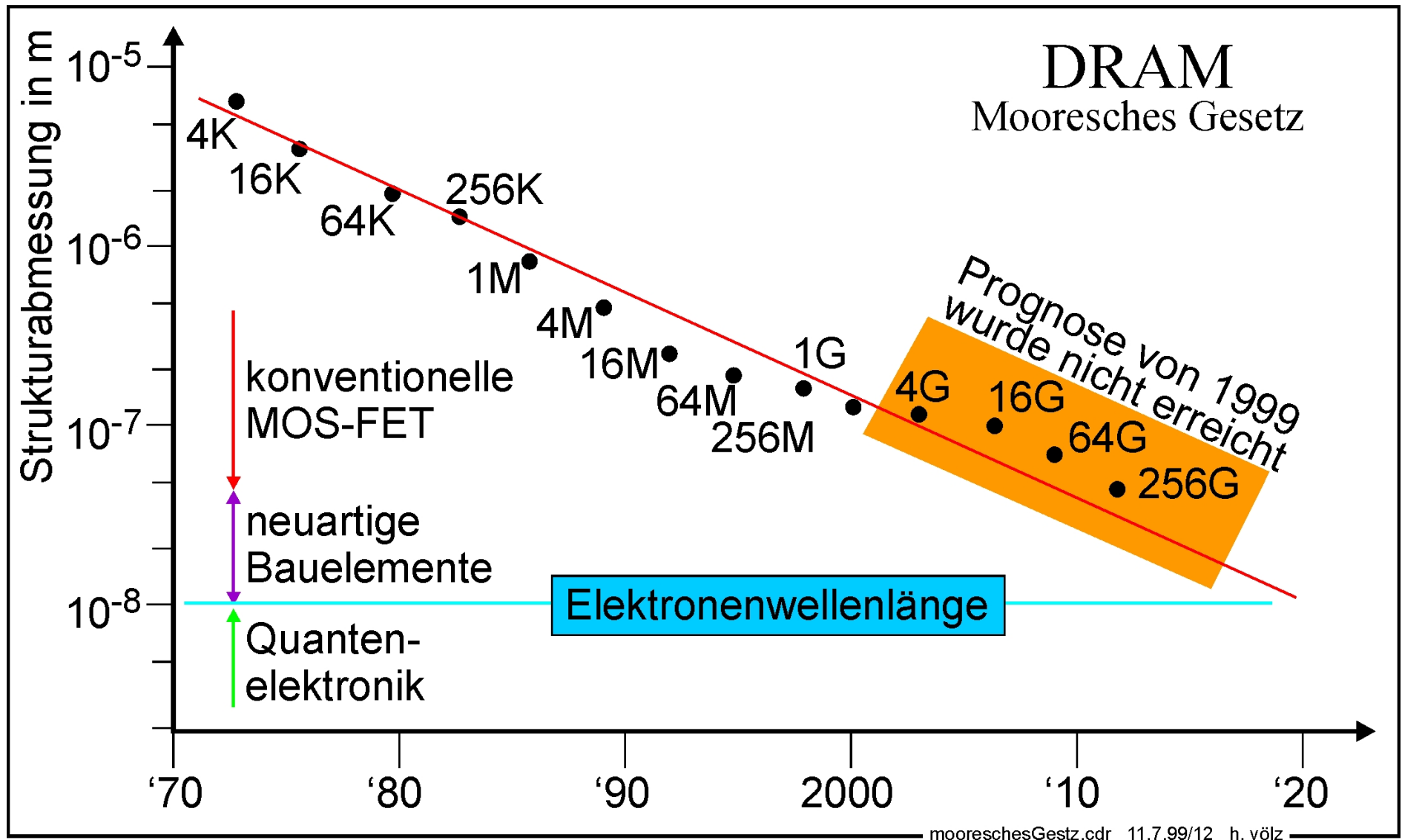
Einen erheblichen Vorteil brachte die Beta-Technik von Sony. Sie arbeitet ohne zusätzlichen Spurabstand.

Alle Beispiele zeigen, dass die technologischen Grenzwerte nahezu erreicht sind.

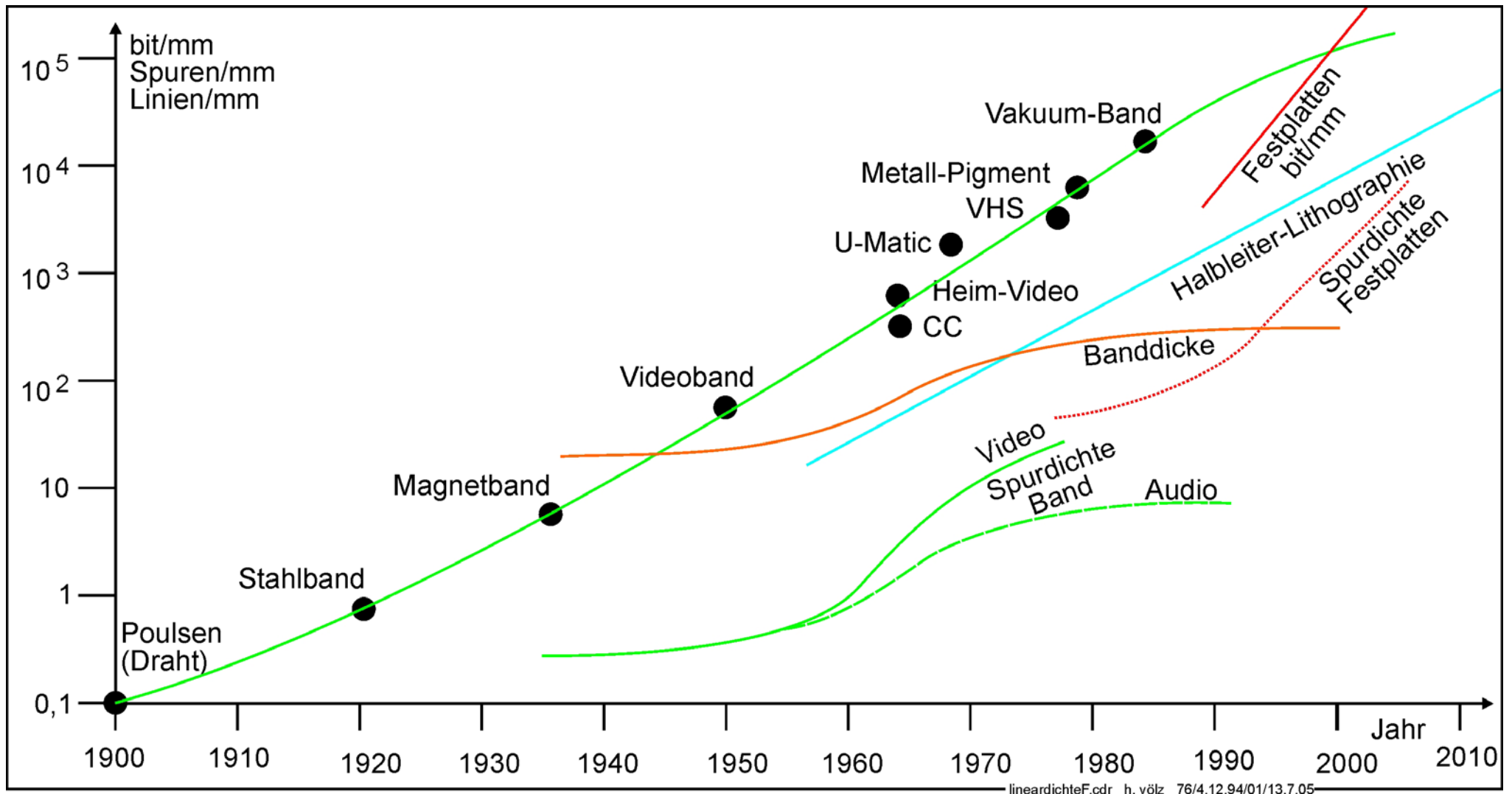
Es könnten also nur total andere Technologien eine Weiterentwicklung ermöglichen.

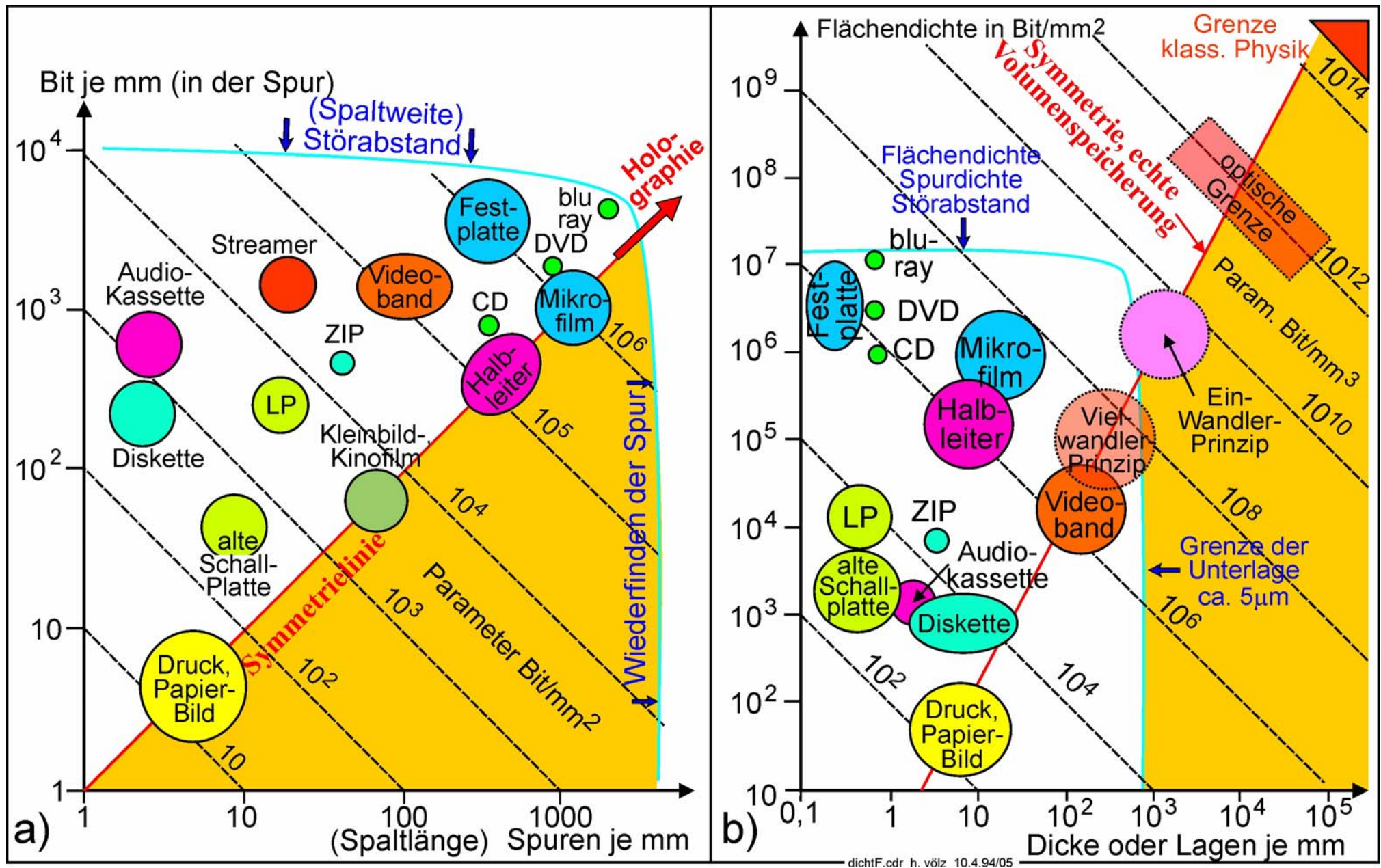
Doch die sind z. Z. bestenfalls angedacht, aber nicht konkret abzusehen.





Seit einigen Jahren wird nicht mehr das volle Wachstum des MOORE'schen Gesetzes erreicht.





Varianten der Speicherdichte

Die voranstehenden Bilder zeigen, dass unterschiedliche Speicherdichten in Gebrauch sind.

Dies ist vor allem deshalb wichtig, weil so nur die Entwicklungstendenzen und -möglichkeiten sichtbar werden.

1. Die **Längsspeicherdichte** d_l gibt die Anzahl der speicherbaren Bits längs einer Spur an.
Sie wird vorwiegend in Bit/mm oder Bit/Inch (bpi) gemessen.
Bei betont **flächenhaften Methoden** (Foto usw.) wird der Begriff „Auflösung“ mit Linien/mm, lines per inch (lpi) bzw. Punkte/mm oder dot per inch (dpi) benutzt. Dies Maß ist unabhängig von der Richtung.
2. Die **Spurdichte** gibt an, wie viele Spuren/ mm oder track per inch (tpi) verwendet werden.
Abgesehen von der Beta-Technik ist zwischen den Spuren ein unbenutzter Abstand (**Rasen**) notwendig.
Daher sind Spuraabstand d_s , genutzte Spurbreite d_b und unbenutzte Rasenbreite $d_r = d_s - d_b$ zu unterscheiden.
Die Spurdichte ist meist deutlich kleiner als die dazugehörige Längsspeicherdichte
bei Magnetbandspeichern wird das zusätzlich durch die **Spaltkonfiguration** verstärkt
Auch fordert bei der Wiedergabe das **Wiederfinden der Spur** eine beachtliche Einschränkung.
3. Die **Flächendichte** ist das Produkt $d_f = d_l \cdot d_s$. Bei flächenhaften Medien gilt meist $d_f = d_l^2$
4. Eigentlich ist jedoch die **Volumendichte** wesentlich. Sie wird jedoch so gut wie nie benutzt.
Speichermedien bzw. Speicher müssen letztlich jedoch in Räumen, Schränken usw. gelagert bzw. archiviert werden.
Das bedingt aber vielfältige **Redundanzen** (s. u.).

Off- und On-Line-Medien

Für Volumenbetrachtungen müssen zunächst unterschieden werden:

Off-Line-Medien

verlangen zum Betrieb ein Speichergerät mit Wiedergabeeinrichtung, typisch sind CD, DVD, Diskette, Magnetband.

Sie können unabhängig vom Gerät gelagert werden und ermöglichen so eine relativ **hohe Volumendichte**.

Sie sind daher für Lagerung und Archivierung besonders geeignet.

Sie entsprechen dem **Einwandlerprinzip**, z. B. befindet sich ein einziger verschiebbarer Magnetkopf in einem Laufwerk, bzw. ein Wiedergabe-Verstärker für tausend Bit-Zellen im Halbleiterchip.

Nachteilig ist die meist erhebliche **Zeitverzögerung** bis zur Benutzung infolge Suche, Transport usw.

Teilweise werden hierzu aufwändige **Roboter**, z. B. bei Magnetbändern benutzt.

On-Line-Medien

sind fest mit dem Speichergerät bzw. der Wiedergabeeinrichtung verbunden, besitzen daher größeres Volumen.

Am wichtigsten ist hier die Festplatte. Im Prinzip gehören hierzu auch Speicherkarte und USB-Stick (s. u.).

Meist sind sie fest in ein umfangreicheres Gerät, z. B. Rechner eingebaut, werden dann nicht archiviert.

Sie sind unmittelbar betriebsbereit und besitzen meist eine schnelleren Zugriff.

Archiverbare On-Line-Medien

sind nicht in größere Geräte fest eingebaut, sondern werden mit ihnen bei Bedarf **elektrisch** verbunden.

Typisch sind externe Festplatte, Microdrive, Speicherkarte und USB-Stick.

Ihr Volumen ist größer als das der Off-Line-Medien. Auch hier gibt es jedoch Zeitverzögerung für den Betrieb.

Anwendungsbezogene Speicherdichte

Es sind zumindest die folgenden vier Varianten zu unterscheiden.

Abgesehen von der 1. Variante erfolgt die Angabe immer in Bit/m^3 .

Von 1 nach 4 verringert sich systematisch die effektive Speicherdichte.

der relative Anteil des eigentlichen Speichermediums wird immer geringer.

1. Die **Bit-Dichte** gilt für das eigentliche Speichermaterial. Sie ist daher meist flächenbezogen; Bit/mm^2 .
2. Die **Mediendichte** betrifft das Speichermedium mit seiner mechanischen Stabilisierung.
Beispiele sind: Halbleiterchip, Magnetband, CD, DVD und die einzelne Scheibe in einer Festplatte.
3. Die **Betriebdichte** erfasst zusätzlich die Schutzhülle und das teilweise notwendige Speichergerät
Insbesondere ist sie daher bei Off-Line-Medien geringer als die Mediendichte.
Auch einfache Geräte mit automatischem Medienwechsel gehören hierzu.
Dann sie sich weitgehend der Mediendichte.
4. Die **Bibliotheksdichte** ist auf große Speicherpools (library) anwendbar.
Hierbei sind viele Speichergeräte, Roboter für tapes oder optische Medien. Archivräume usw. zusammengefasst.
Sie erfüllen zumindest einen Raum, oft aber mehrere Räume bis zu einem Haus.
Durch notwendige Freiräume (Zugänge), Wände, Treppen, Aufzüge, Klimaanlage, Versorgungs-, Arbeits-, Leseräume usw. geht viel Raum für die eigentliche Speicherung verloren.

Volumen-Redundanzen

Sie betrifft das Verhältnis vom **betriebsnotwendigen Volumen** zum **Speichermaterial**.

Dabei sind vier Größenklassen zu unterscheiden:

Handgeräte ($\approx 1 \text{ dm}^3$), **Standgeräte** ($\leq 1 \text{ m}^3$), **Räume** ($\approx 100 \text{ m}^3$), **Häuser** ($\approx 10^6 \text{ m}^3$).

Parameter dabei sind u. a. Handhabbarkeit, Bedienung, Transport, Reparatur, Nebenräume, Klimaanlage usw. Weiter hängen die Daten deutlich von den Speicherverfahren ab:

Elektronik: Volumen von pn-Struktur über unverkapseltem Chip, Chipgehäuse, Leiterplatte bis zum Gerät. Es folgt daher Volumen von Handgerät zu vorhandenen pn-Strukturen $\approx 10^{-6}$ bis 10^{-8} .

Magnetband: Magnetschicht $\approx 2 \mu\text{m}$ Dicke, jedoch meist weniger als $0,5 \mu\text{m}$ magnetisiert.

Mechanik erfordert Unterlage $\geq 5 \mu\text{m}$. Das Band ist auf Spule mit redundantem Kern aufgewickelt.

Spule befindet sich in Schutzhülle oder Kassette, nutzbares Volumen $\leq 1/5$ vom Bandvolumen $\Rightarrow \leq 1/20$ Speichermedium. Das notwendige Laufwerk erhöht die Redundanz ganz wesentlich bezüglich eines Bandes.

Bibliothek: Bücher stehen so wohlgeordnet in Regalen, dass ein Mensch (evtl. Roboter) leicht Zugriff hat. Bestenfalls kann daher 5 % des Raumes mit Büchern, CD, Bändern usw. gefüllt werden.

Gebäude: hier kommen noch Gänge, Treppen, Aufzüge, Klimaanlage, Versorgungs-, Arbeits-, Leseräume usw. hinzu. So ist bestenfalls etwa 1 % des Gebäudes für Bücher, Tapes usw. nutzbar.

In einem großen Gebäude sind nur ca. 10 000 Standgeräte unterzubringen.

Für Halbleiter, CD, Bänder usw. beträgt so das maximal mögliche **eigentliche Speichervolumen** etwa **1 m³**.

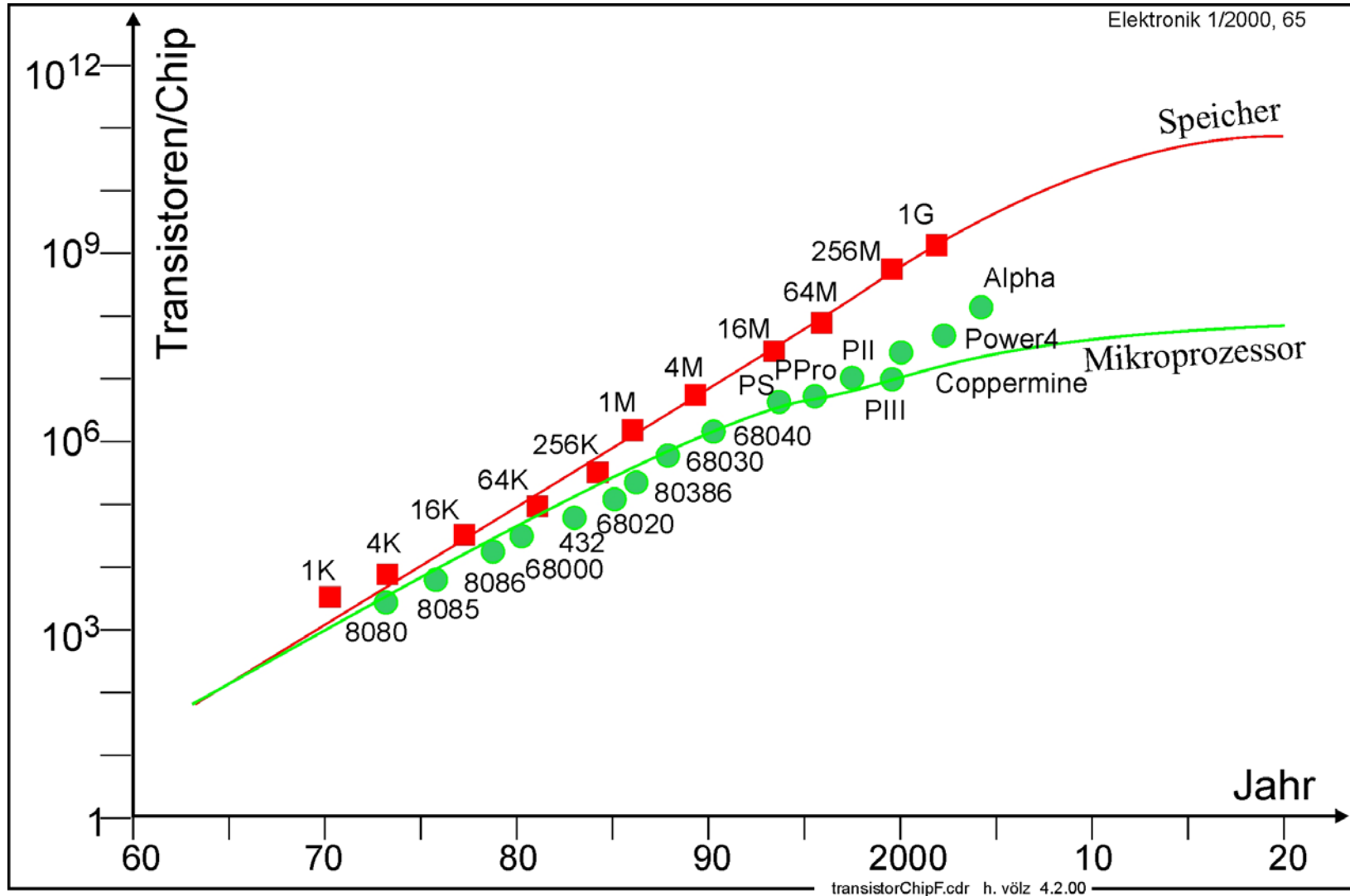
Eigenschaften einiger technischer Speicher

	Halbleiter	Festplatte	CD, DVD usw.	Diskette	Bandtechnik	dig. Holografie
Betrieb	On-Line-Medien		Off-Line-Medien			?
Gerät, Einrichtung	Leiterplatte, Minikarte	Gerät mit Elektronik	Laufwerk	Laufwerk	Laufwerk	Optische Einrichtung
Verpackung, Schutz usw.	Gehäuse	Staubdicht verschlossen	Teilweise Schutzhülle	Hülle und Verpackung	Kassette oder Spule	Schutzverpackung
Notwendiger Träger	Chip	Alu- oder Glasträger	Polycarbonat-schicht	Unterlage	Unterlage	notwendig?
Speicher-material	pn-Übergänge, MOS-Gates usw.	Magnet-schicht	Vertiefungen, Farbstoff usw.	Magnet-schicht	Magnetschicht	Holografie-Material
Redundanz	>2000	>5000	>2000	>2000	>200	≈2
Bemerkung	Auf Leiterplatte, SD-Karte usw.	Nur Gerät austauschbar	Manchmal Hülle	Kaum noch benutzt	Volumenvorteil Bandwickel	Räumliche Speicherung

Insbesondere bei den Halbleiterspeichern ist die **Chipfläche** begrenzt.

So folgt aus den Transistoren je Chip ziemlich unmittelbar die Begrenzung der **Speicherkapazität**.

Wegen der komplexen Verschaltung bei **Mikroprozessoren** werden für sie deutlich kleinere Werte erreicht.



Speicherkapazität und Zugriffszeit.

Zu Beginn der technischen Speicherung genügten diese beiden Kenngrößen.

Es war erstaunlich als 1967 zwischen ihnen ein **Zusammenhang** gefunden wurde [1] (s. Bild links).

Wie bereist damals vermutet, **verschieben** sich die „Flächen“ im Laufe der Zeit zu jeweils **größeren Kapazitäten**.

Bezüglich des **Zugriffs** ergaben sich jedoch zumindest **drei feste Grenzen**., die durch 3 weitere ergänzt werden können

- **Elektronische** Speicher..... $\ll 1 \mu\text{s}$
- **Mechanisch** bewegte Speicher $\geq 1 \text{ ms}$
- **Menschlicher** Zugriff..... $\geq 1 \text{ s}$
- **Optische, Tieftemperatur- und Quanten-Speicher**..... $\leq 1 \text{ ps}$
- **Neuronale** Speicherung (Gedächtnis)..... $\approx 0,1 \text{ s}$
- **Genetik** = konstanter Quotient C/T_Z $\approx 2000 \text{ Nukleotide/s}$

Auffällig ist die andere **Dimension** bei der **Genetik**, gemäß $C = \text{Speicherkapazität} / T_Z = \text{Zugriffzeit}$.

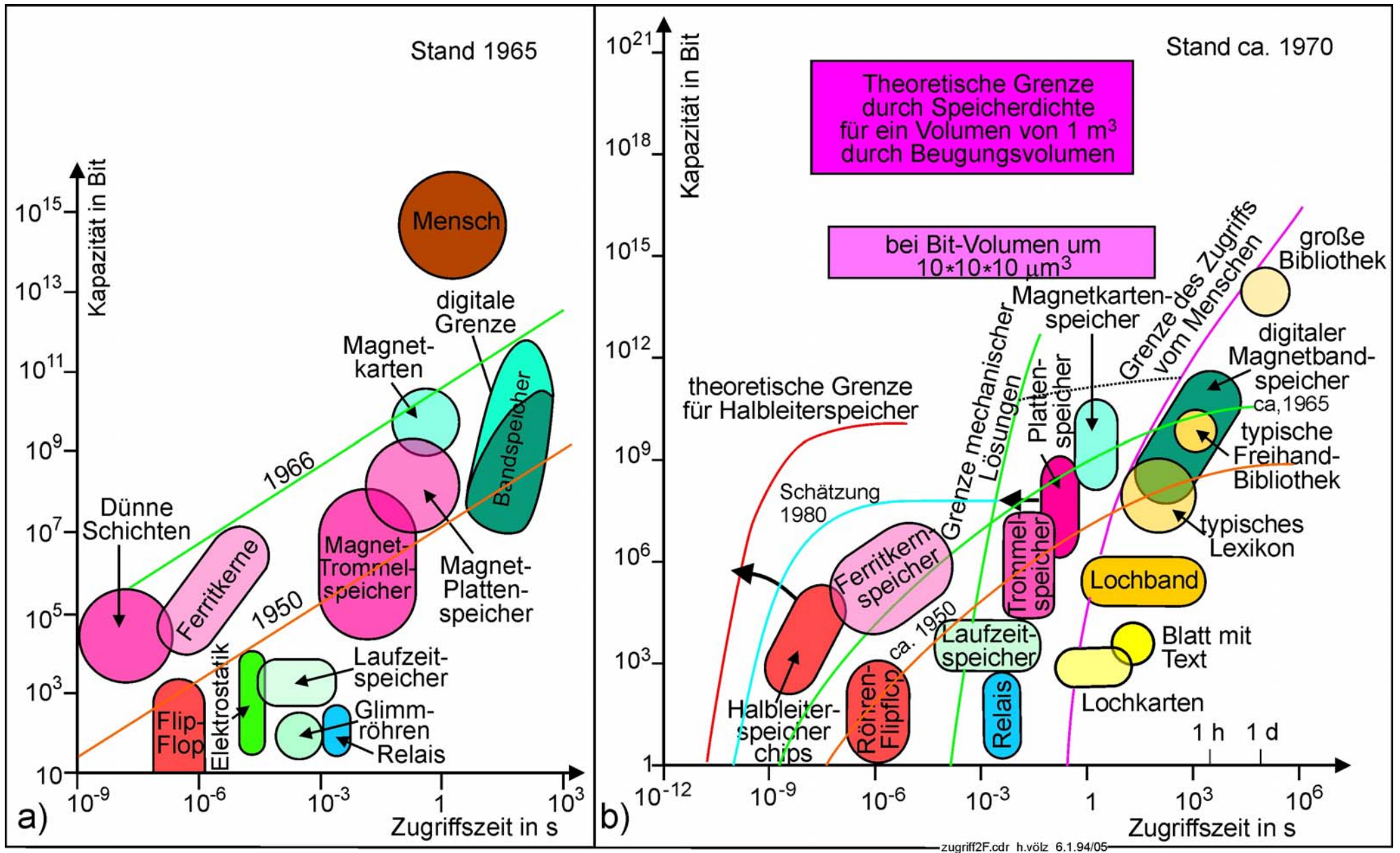
Sie entsteht durch den betont seriellen Zugriff.

Unter Berücksichtigung des zeitlichen Kapazitätswachses ist eine Analogie bezüglich aller Speicher möglich.

Der entsprechende **Kapazitäts-Zugriff** besitzt dann zwar die Dimension **Bit/s** ist aber keine Datenrate!

Jahr	1950	1965	1980	2000
Bit/s	10^7	10^9	10^{11}	10^{13}

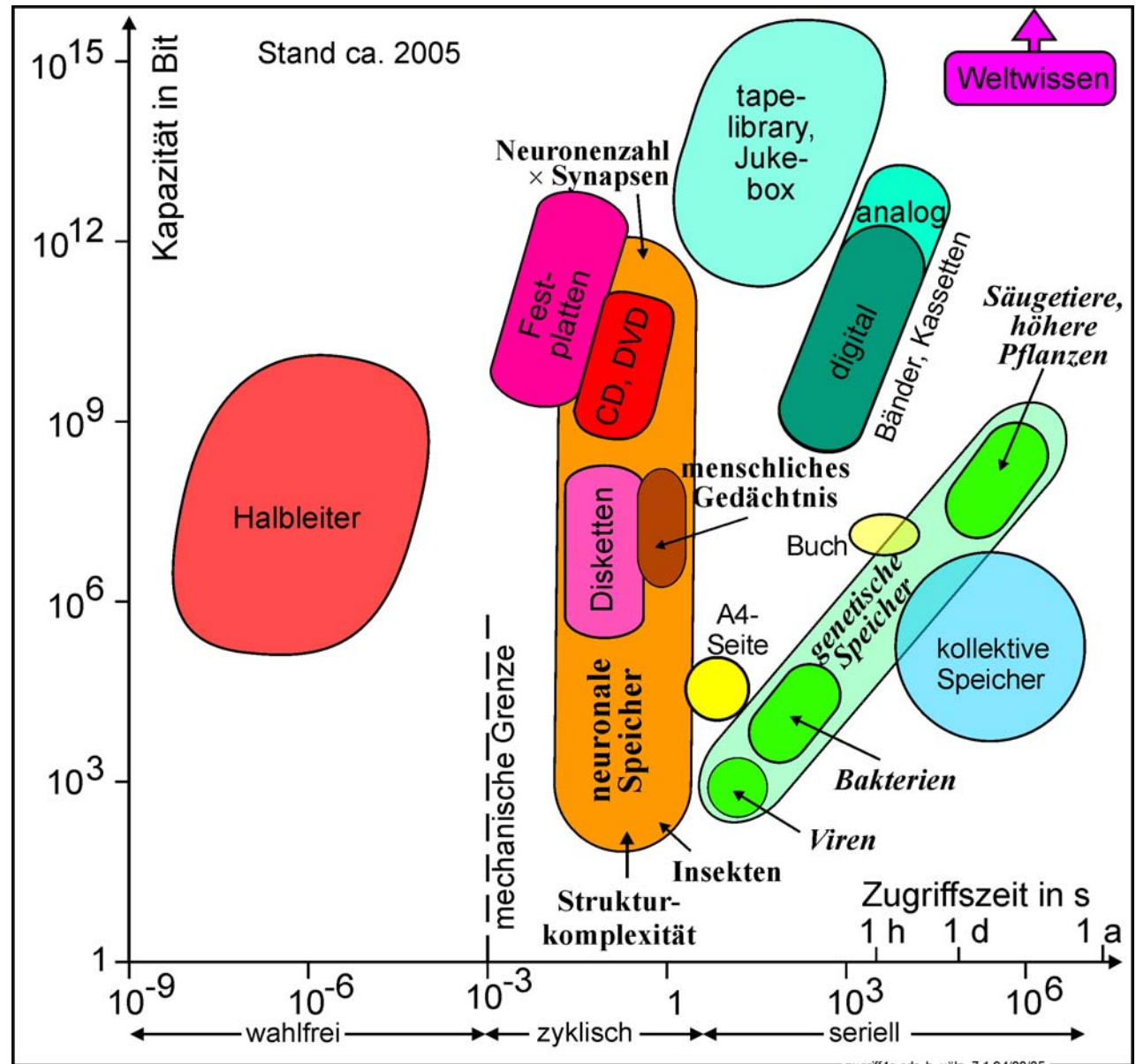
[1] Völz, H.: Betrachtungen zum Zusammenhang von Speicherdichte und Zugriffszeit. Wiss. Zeitschr. f. Elektrotechnik 9 (1967) 2, 95-107



Infolge des großen Maßstabes gilt dieses Bild im Wesentlichen auch noch für 2012.

Zuwächse an Speicherkapazität sind **nur** für folgende Medien erreicht bzw. erreichbar:

- CD, DVD → **blu-disc** ≤50GByte
Weiterentwicklung kaum möglich!
- **Halbleiter, Festplatten, digitale tapes.**
Die Entwicklung könnte hier **bis ca. 2020** weiter gehen.
Halbleiter bis ≈TByte, andere bis ≈EByte



Bit-Preis

Mit der enormen Zunahme der Speicherkapazität sinkt auch der Preis je Bit.

Dies erfolgt jedoch wesentlich steiler als es sonst in der Technik mit ***zunehmender Produktion*** üblich ist.

Für ***alle möglichen Produkte*** gilt annähernd: Produkt-Preis (DM) $\times$ Produktionszahl $\approx 10^9$.

Für ***einzelne Produkte*** gilt außerdem die Faustregel: 10-fache Produktion $\rightarrow$ halber Stück- bzw. kg-Preis.

Der berühmte Preisverfall des ***Transistors*** ist wesentlich steiler und fast so steil wie bei allen Produkten.

Er fällt von 1967 bis 2000, also ***in 33 Jahren auf rund 10^{-7}***

Der Preisverfall je Bit ***Speicherkapazität*** ist etwa gleichgroß und ist sogar über ***70 Jahre*** nachweisbar.

Bei der Kurve ist erneut zusätzlich auffällig, dass sich der Abfall ***ab 1995*** sehr deutlich ***versteilert***.

Die Ursache dürfte - wie schon oben festgestellt - darin liegen, dass ***mehr Speicher als benötigt produziert*** wird.

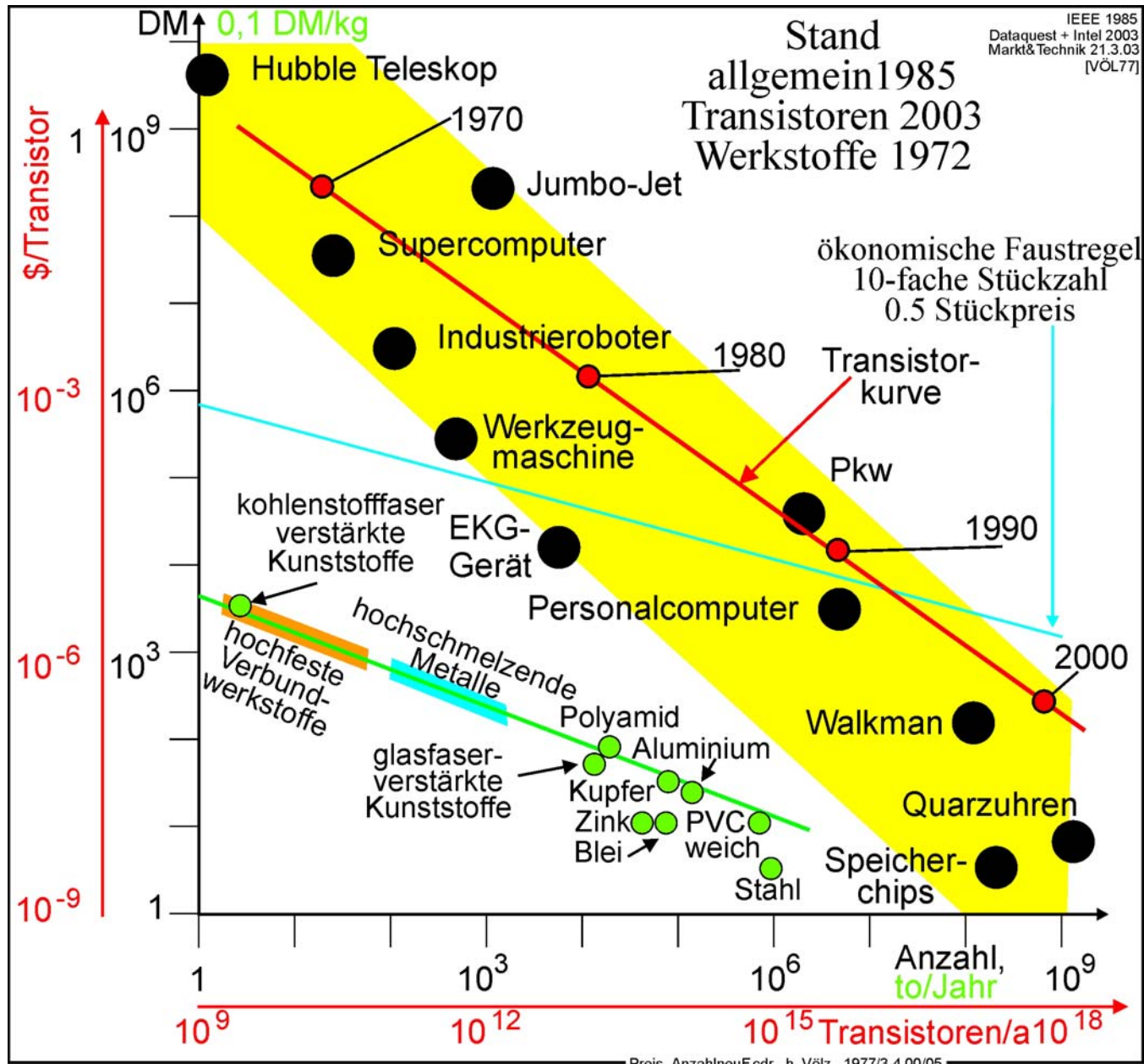
Wohl eher zufällig erreichen hier die Bit-Preise jene von ***Papier***: Kopien, Druck, Kopien, Foto usw.

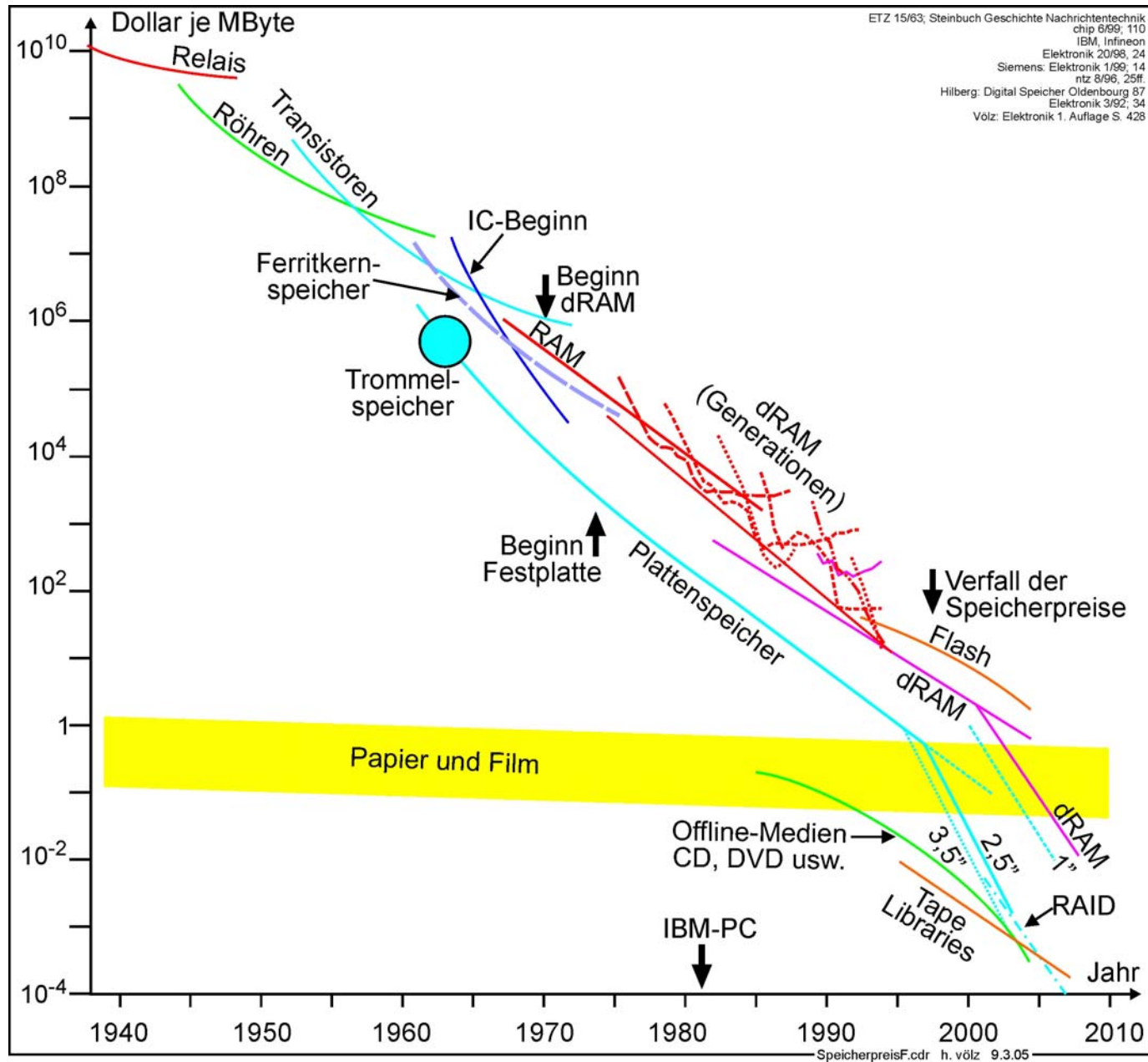
Fehler- und Ausfallrate

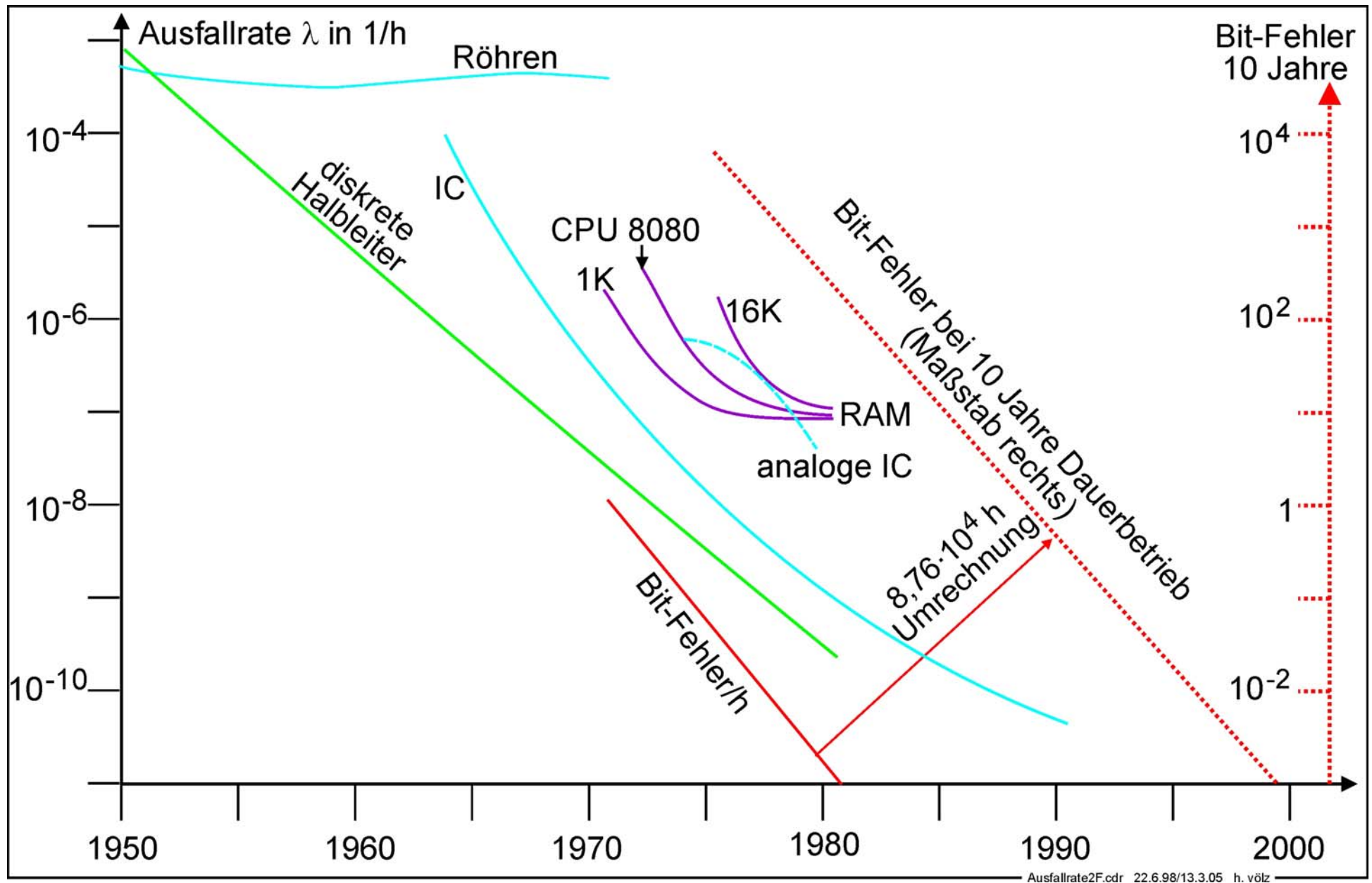
Der etwa gleichsteile Abfall der relativen Fehlerrate ist schwieriger zu erklären, zumal hier keine Vergleiche existieren.

Ohne ihn hätte jedoch die Steigerung der Speicherkapazität deutlich weniger Vorteile erbracht.

Der Gewinn wurde durch systematisch technologische Vermeidung und Unterdrückung der einzelnen Ursachen erreicht.







Zeit und Daten

Heute ist neben der Zugriffszeit eine Vielzahl von Zeitabhängigkeiten hinzugekommen.

- Die **Datenrate** betrifft einen länger anhaltender Datenstrom (Stream). Er ist vor allen für die Aufzeichnung und Wiedergabe bei Audio und Video (z. B. Band und DVD), aber auch bei Sendern und im Internet wichtig. Ähnlich gilt er aber auch für relativ kurzzeitige Bursts (z. B. eines Sektors).
- Die **Update-** bzw. **Aktualisierungszeit** gibt an, wann Daten – u. a. weil sie sich ändern – durch neue ersetzt werden bzw. ersetzt werden (müssen).
- Während der **Archivierungszeit** muss die Aktualität und Gültigkeit der Daten – z. T. sogar gesetzlich – garantiert sein.
- Die **Haltbarkeit** bzw. **Lebensdauer** eines **Speichermediums** ist u. a. durch Alterung und Abnutzung begrenzt. Bei den **Geräten** tritt der moralische Verschleiß oft früher ein (s. Verfügbarkeit).
- Das **Backup** betrifft Sicherheitskopien, die z. B. täglich, wöchentlich usw. als Vorsicht gegenüber Havarien angelegt werden. Sie besitzen oft eine Latenzzeit, nach deren Ablauf sie durch ein neues Backup ersetzt werden. Es gibt viele **Backupstrategien** betreffen z. B. Anwendung, Umfang, Zeitabstand, total und differentiell (s.u.). Für einen evtl. eintretenden „Absturz“ des Systems wird der so genannte **Spiegel** zur Rekonstruktion angelegt.
- Die **Verfügbarkeit** der notwendigen Technik ist durch technischen und moralischen Verschleiß begrenzt.

Aktualisierung, Update, Archivierung

Die drei Inhalte bedingen sich z. T. gegenseitig und besitzen je nach Anwendung und Bezug unterschiedliche Zeitdauern.

Gesundheitsdaten, wie **Puls, Blutdruck** usw. können sich in Sekunden ändern.

Recht kurzlebig sind z. B: **aktuelle Tagesnachrichten** oder **Verkehrsmeldungen**.

Virendefinitionen werden heute fast täglich – teilweise sogar schneller – aktualisiert.

Für eine **Tageszeitung** beträgt die Update-Zeit einen Tag, für eine **Zeitschrift** meist einen Monat.

Für **Apotheken** genügte vor wenigen Jahren 14-tägig eine neue CD mit den aktuellen Medikamenten und deren Nebenwirkungen; jetzt erfolgen die Änderungen unmittelbar per Internet.

Updates erfolgen hauptsächlich für Betriebssysteme und Software im monatlichen bis jährlichen Abstand.

Technisches Wissen und Fachbücher veralten in Jahren und bewirken so den Abstand für Neuauflagen.

Gesetzlich müssen viele Daten 10 Jahre unverfälschbar zur Verfügung stehen.

Geschichtsdaten und ähnliche Fakten müssen mindesten Jahrzehnte archiviert werden, teilweise sind sie sogar für Jahrtausende vorhanden.

Noch langlebiger sind Daten zu **Klima, Landschaft und Geologie**.

Ein **Kunstwerk** ist sogar einmalig und wird daher gewöhnlich nicht mehr verändert.

Lebensdauer

Alte Inschriften auf Stein oder Papyrus haben sich über mehr als *tausend Jahre* erhalten.

Bereist das „moderne“ **Papier** wird unbrauchbar oder vergilbt in *etwa hundert Jahren*.

Moderne **digitale Daten** haben leider eine *viel kürzere Haltbarkeit*.

Wegen dieser Gefahr wird (immer noch) der **Mikrofilm** für wichtige Archive benutzt. Zur Wiedergabe genügen leicht verfügbare Lupen oder Mikroskope.

Besonders bei den **Off-Line-Medien** ist hierbei der Unterschied von Speichermedium und -Gerät zu unterscheiden.

Das **Speichermedium** enthält oft noch nach Jahrzehnten fehlerfrei die Daten.

Jedoch die **Speichergeräte** und **Datenformate** unterliegen dem *moralischen Verschleiß*.

Oft sind es nur *marktstrategische* Gründe, die neue Geräte und Formate einführen, und alte nicht mehr bereitstellen.

Z. B. sind auf vielen **8-Zoll-Disketten** noch die Daten fehlerfrei vorhanden, Doch spätestens seit etwa 1990 sind Geräte zur Wiedergabe nicht mehr verfügbar, und wenn sie noch irgendwo gefunden werden, fehlt der Treiber.

Heute sind Textdateien von Wordstar usw. kaum noch *lesbar*, ähnliches gilt für einige Grafikformate.

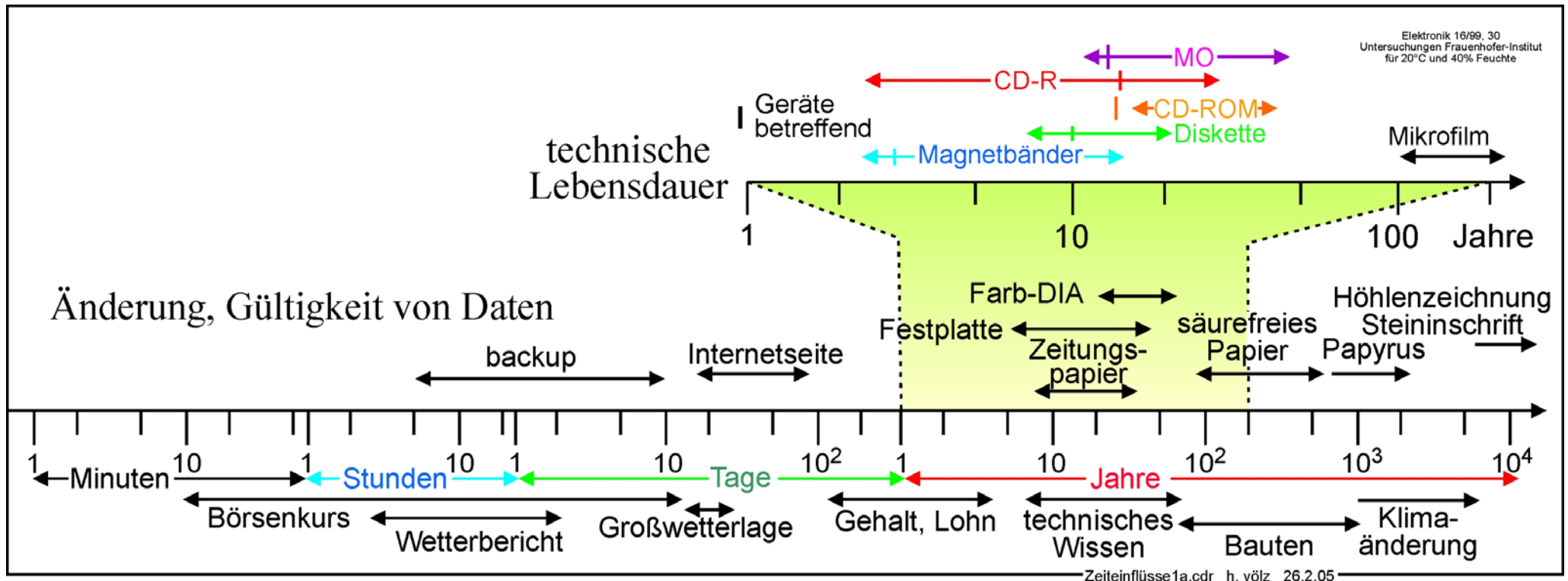
Deshalb werden vielfach **Standardformate** wie das historische PDF usw. angestrebt.

Für **analog** (genauer kontinuierliche) aufgezeichnet Signale sind die Bedingungen noch ungünstiger.

Dies hat zur Folge, dass in bestimmten Abständen, immer rechtzeitig **Daten umkopiert** werden müssen.

Der dazu notwendige **Arbeitsaufwand** und deren **Organisation** sind jedoch oft nicht zu bewältigen.

Ferner ist bei digitalen Techniken kein **Versagen vorher ermittelbar**, bestenfalls sind statistische Werte verfügbar.



Backup

Als Folge von Fehlerursachen sind Rechner und Daten nicht absolut sicher; statistisch gilt etwa:
20 - 40 % **Hardware**, 35 -50 % **Bedienung**, 10 – 15 % **Software**, $\approx 7\%$ **Viren**, 3 - 7 % **Natureinflüsse**,
 $\approx 8\%$ **böswillige Attacken** und 5 % **Sonstiges**.

Um schnell wieder gültige Daten zu besitzen erfolgen **Backups** nach bestimmten Strategien.

Doch leider treten $\approx 80\%$ der Datenverluste durch nur **scheinbar ordnungsgemäße Backups** auf.

Besonders unsicher sind **Streamer**-Aufzeichnungen mit rotierenden Magnetköpfen.

Ein extremes Beispiel stammt von der **NASA**: Ihre 1,2 Millionen Magnetbänder der Mondlandung und des Shuttles sollen so schlecht archiviert, dokumentiert und gelagert sein, dass ihre Daten heute unwiederbringlich verloren sind.

Gemäß dem Deutschen **Bundesarchiv** in Koblenz sollen $\approx 30\%$ der Datenbänder aus DDR-Archiven unbrauchbar sein. Andererseits ist aber bekannt, dass selbst ausgegrabene Bänder der Nazizeit oft noch nutzbar waren.

Umfangreiche Backup-Strategien existieren u. a. bei der **Entwicklung von technischen Produkten**.

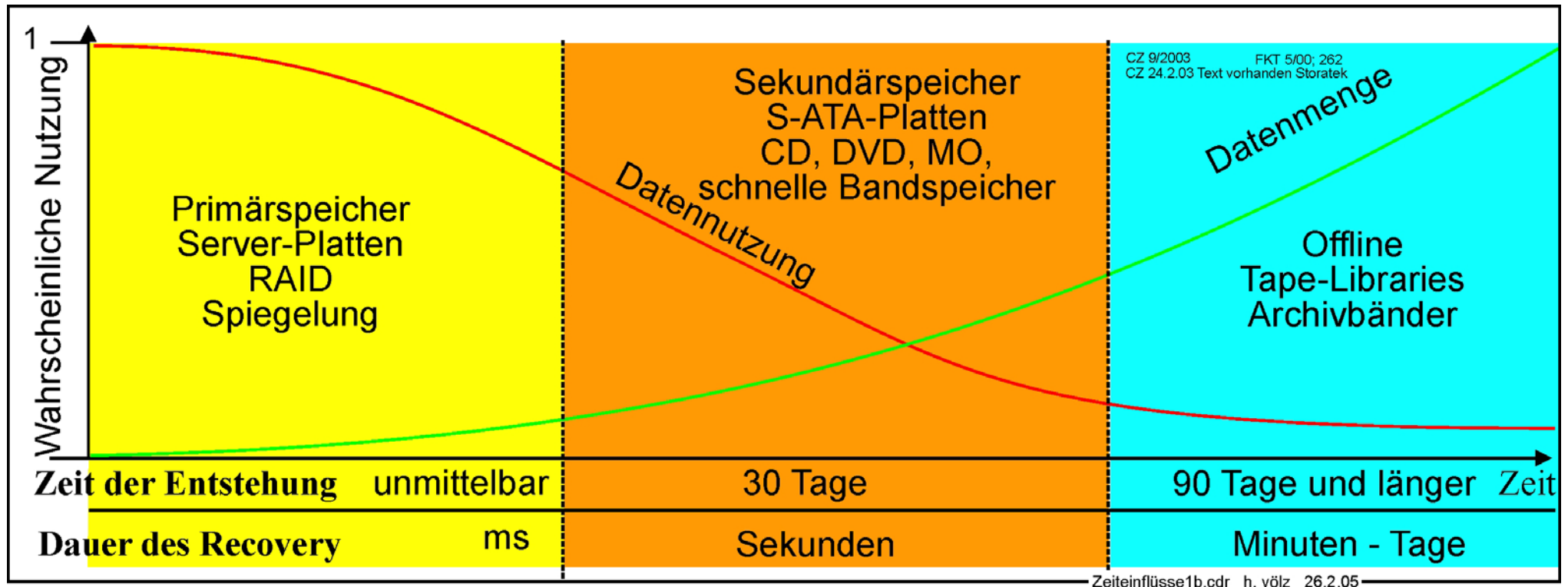
In dem oft komplexen Zyklus müssen **Anfangs** viele Daten bereitstehen und ständig geändert werden.

Ab der **Produktion** stehen viele Daten fest. Es folgt nur noch ein ständiger, jedoch deutlich langsamer **Änderungsdienst**.

Am **Produktionsende** liegen nur noch Archivdaten vor, die sehr selten benötigt werden.

Das nutzen z. B. Hierarchisches Speicher-Management, High-end Storage Management (**HSM**), Information-Lifecycle-Management (**ILM**), Direct Attached Storage (**DAS**), Hierarchical One Volume Manager (**OVM-H**), Storage Area Networks (**SAN**), Tape-Virtualisierung usw.

Zusätzlich werden auch berücksichtigt: Speicherkosten, Datenmenge, Notwendigkeit/Wichtigkeit für den Betriebsablauf, Änderungsgeschwindigkeit, Gültigkeitsdauer, Vertraulichkeit, Geheimhaltung, Zugriffshäufigkeit, Zugriffszeit, Datenrate, zulässige Wartezeit, Archivierungspflicht und Betriebgeschichte.



Zum Vergleich

Bereich	Fakt, Zweck	Maximal -notwendige Beständigkeit
<i>Natur</i>	Ständigkeit, Irreversibilität, Geologie	$\rightarrow \infty$
<i>Genetik</i>	Erhaltung der Art	$\approx 10^9$ Jahre
<i>Neuronal</i>	Überleben des Individuums	bis zum Tod ≈ 100 Jahre
<i>Gesellschaft</i>	Wissen, Kultur, Werte	$0 \rightarrow \infty$, Dauer Menschheit $\approx 10^6$ Jahre?

Was muss zukünftig gespeichert werden?

Im Prinzip ist heute alles, was auf der Welt elektronisch geschieht, **vollständig zu speichern**.

Bereist heute ist die Menge so groß, dass häufig **ein sinnvoller Zugriff** kaum mehr möglich ist.

Störend bis schädlich ist der **Ballast „überflüssiger“ Daten**: Doppelungen, Markt, Geheimdienste usw.

Daher wird es immer wichtiger: **Was und wie** muss künftig optimal **gespeichert werden**.

Es ist die notwendige **Redundanz** und **Relevanz** neu zu **definieren**.

Dabei sind **Inhalte**, **Sachbezüge** und **zeitbegrenzende Kriterien** zu berücksichtigen.

In diesen und weiteren Punkten können fast nur Fragen gestellt und Aufgaben genannt werden.

- Was für ist für **wen** erforderlich? Individuell, wissenschaftlich, didaktisch, kulturell, gesetzlich usw.
- Was für die **Menschheit**, **Zivilisation** und **Technik** notwendig und von Nutzen?
- Was ist für **Kultur und Geschichte** wichtig: Originale der Kunst, Menschenbild, Religion usw.?
- Was muss ein (oder mehrere) **Welt-Archive** (*on demand*) enthalten?

Für alle Inhalte sind **Universalformate** und **spezielle Hardware** gegen den „digitalen Verlust“ notwendig.

Z. B.: Microfiche $\Leftrightarrow$ elektronische Daten. Weiterentwicklungen bei Adobe!?

Speichern der **Originale** oder/und **Rekonstruktion** mittels Formeln und Algorithmen?

Abzuwägen sind auch **inhaltliche** $\Leftrightarrow$ **ökonomische Grenzen**.

Wie ist künftig mit Daten umzugehen?

- Wie sollen Daten vor **Zerstörung, Verlust** usw. **geschützt** werden?
- Wie ist der **Zugriff** auf Daten zu regeln? u. a. Rechte, Möglichkeiten, Geschwindigkeit usw.
- Wie ist mit **Urheberrechten** umzugehen? Zitate, Plagiate, Vergütungen für **Ausbildung** und **Kultur** ist kostenlos notwendig, nur bei erreichtem Gewinn Abgaben!
- **Wissen ist Macht** muss abgeschwächt und kein Missbrauch zugelassen werden.
- **Geheimhaltung** ist deutlich zu reduzieren, wo unbedingt notwendig ist eine strenge Zeitbegrenzung erforderlich
- Wie sind **Sammler** und **Nostalgiker** einzuordnen?
- Wie ist mit **Schädlichem, Destruktivem** umzugehen? Wahrscheinlich ist moralisch wichtiger als gesetzlich.

Mögliche Eingrenzungen, Beschränkungen

- **Lehrbücher, Lexika, Publikationen** usw.: Genügt ein eingeschränkter, aktuell zu haltender Anteil (**Didaktik**)?
- **Museen, Archive, Bibliotheken** usw.: typische Originale sind in geringer Anzahl aufheben.
- **Rundfunk, Fernsehen, Presse**: Wichtige Zeitdokumente und (Eigen-) Produktionen speichern.
- **Historiker**: Vor allem Original-Dokumente; sie werden ohnehin ständig neu interpretiert.
- **Archäologie** muss kulturhistorische Inhalte sichern.

Versuch einer Einteilung und Abgrenzung

Inhalt der Information	Art der Information	Umgang für die Speicherung
<i>Historisch</i>	Originale	Dauerhaft aufheben
<i>Kulturell, künstlerisch</i>	Menschliche Werte betreffend	Auswahl von Originalen aufheben, allgemein verfügbar machen
<i>Utilitär, technisch, wissenschaftlich</i>	Wissen, Fakten, Gesetze, Methoden	ständig aktualisieren
<i>Didaktisch</i>	Darstellungsform, gut lehrbar	Besseres ersetzt Älteres
<i>Geheimhaltung</i>	Fakten, Geschehen	falls überhaupt notwendig, dann unbedingt zeitliche Begrenzung
<i>Destruktiv, zerstörerisch</i>	Wissen, Methoden	moralische Verurteilung (Verbot, Strafen?)

Gliederung

1. Einführung
2. Stoff, Energie und Information
3. Evolution der Speicherung
4. Systematik der technischen Speicherung
5. Möglichkeiten und Grenzen

muss noch bearbeitet werden:

6. Die technisch-elektronischen Varianten

7. Blick in die Zukunft
8. Literatur, Sachwort usw.

Überblick Technische Varianten

Es werden die drei Wichtigsten Varianten in ihren Grundlagen, ihrer Technik und Zukunft behandelt. Historische Speicher werden nicht berücksichtigt.

Im Zentrum der **elektronischen Speicher** stehen sRAM, dRAM und Flash. Auf Cash, Stack, CCD und assoziative Speicher wird kurz eingegangen. Als zukünftige Varianten werden FRAM, MRAM, ORAM, Memristor, Nanoelektronik und kurz der eventuell mögliche Quantenspeicher eingeführt.

Bei den **magnetischen Speichern** haben nur noch die Festplatte, lineare Tape-steamer sowie die Libraries Bedeutung. Eventuell könnten dynamisch bewegte Wände der Nanoelektronik zur Anwendung kommen. Die Disketten und alle analogen Magnetbänder kommen so gut wie nicht mehr zur Anwendung und werden daher weggelassen.

Obwohl bereits das Ende der heute üblichen **opto-elektronischen Speicher** - CD, DVD und blu disc – abzusehen ist, werden sie noch dargestellt. Für die Zukunft könnten digital-holografische Verfahren zur Anwendung kommen. Ihre beiden Varianten, Disc und Volumenspeicher mit optoelektronischer Ablenkung, werden vorgestellt.