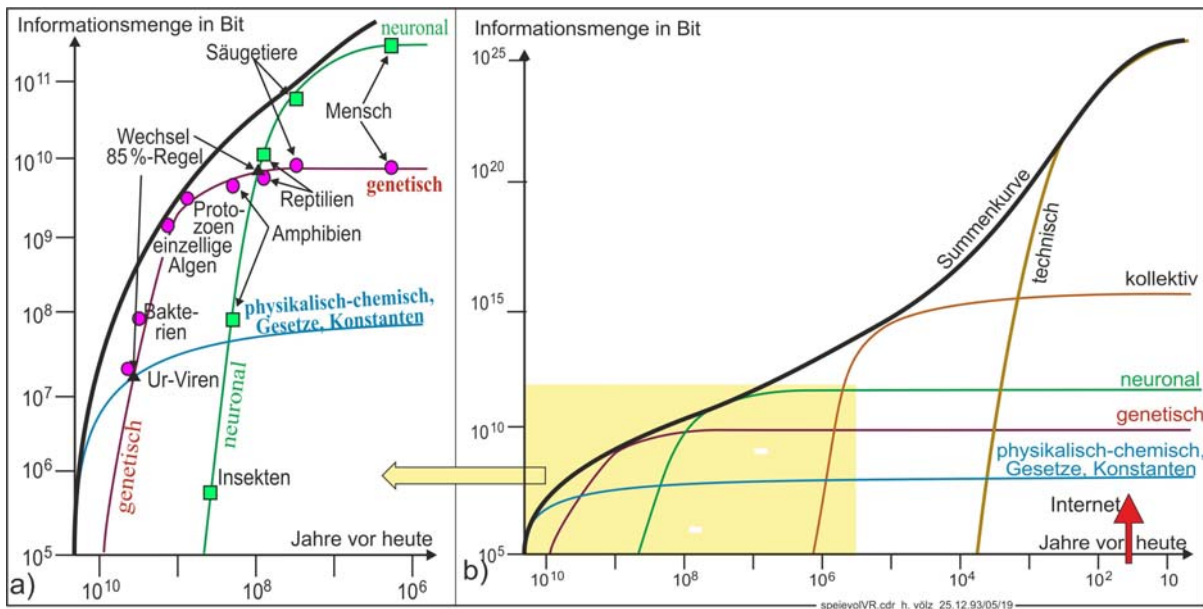
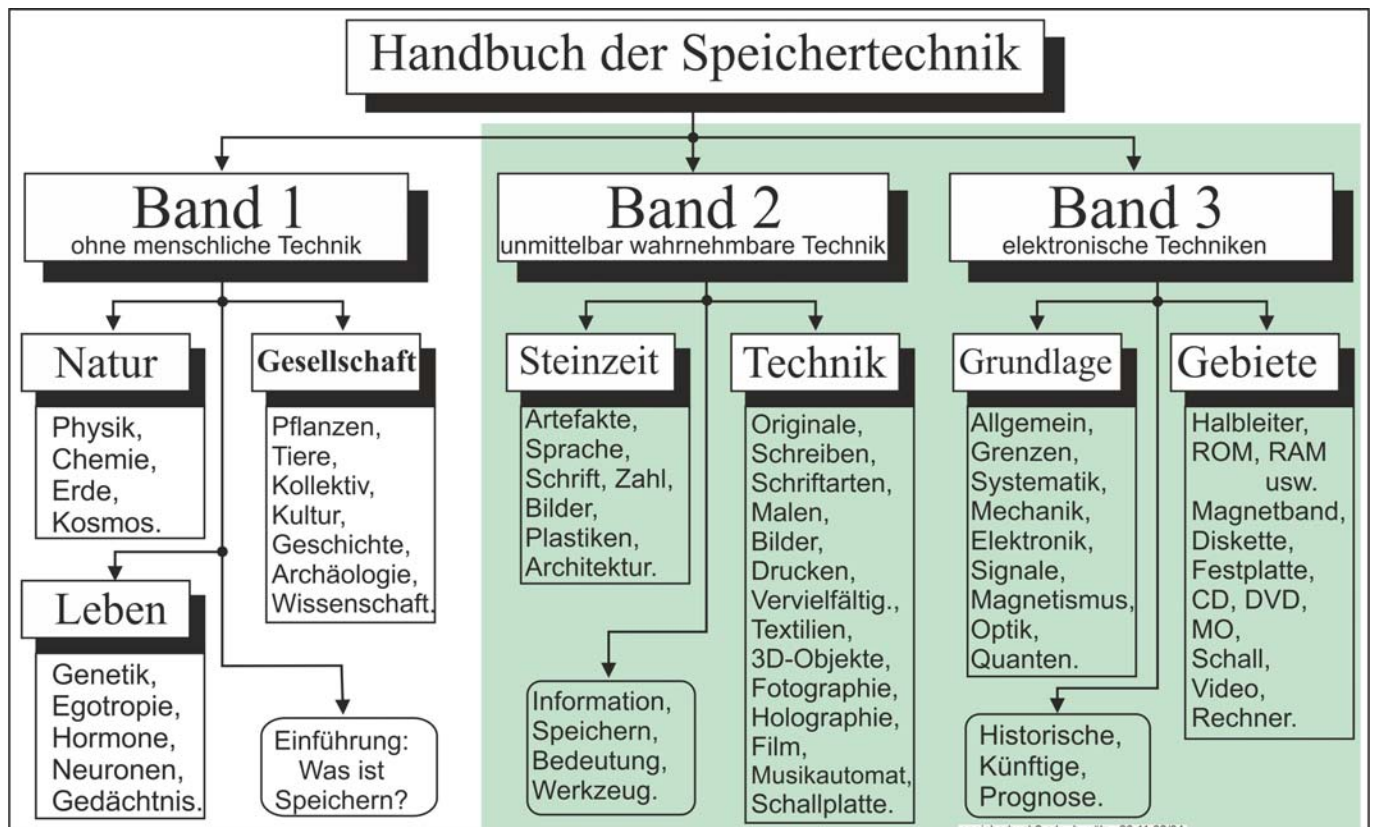


# Speicher als Grundlage für Alles



# Vorwort

Ursprüngliche wollte ich mit diesem Buch nur deutlich aufzeigen, dass die Speicherung für viele Gebiete und nicht nur für die Technik grundlegende Voraussetzung ist. So gäbe es unter anderem ohne sie kein Leben. Wir könnten keine Veränderungen und damit keine Zeit erleben, würden immer nur in der aktuellen Gegenwart leben und damit von der Vergangenheit nichts wissen. Doch bei der Ausarbeitung ergaben sich dann mehrere neue Gesichtspunkte, die insbesondere die Grenzen der Speicherung und sogar Grenzen unserer Zukunft betreffen. Dabei konnte ich weitgehend auf die einzelnen Grundlagen, Techniken und Anwendungen der Speicherung verzichten, denn es lag ja bereits sehr ausführliches Material in der Digitalen Bibliothek auf einer DVD vor [Völ07a]. Es geht weitgehend auf die vier Bände des Shaker-Verlages mit rund 2500 Seiten und weit über tausend Bildern zurück [Völ01], [Völ03], [Völ05] und [Völ07]. Den Aufbau und Inhalt der hierfür wesentlichen, letzten drei Bände speziell zur Speicherung zeigt das Bild. Die technischen Speicher sind grün hervorgehoben. Sie berücksichtigen den technischen Stand um 2010 nahezu vollständig. Daher erwies es sich nur zuweilen als notwendig, auf einige Details dieser Bücher ergänzend hinzuweisen.



Für das Vorhaben war es jedoch vorteilhaft bis notwendig, zunächst die Speicherung etwas allgemeiner als üblich einzuführen. Dabei sind dann drei prinzipiell unterschiedliche Speicherarten zu unterscheiden: Die von Stoff (Material), Energie und Inhaltlichem. Die letzte Variante betrifft als Kapitel 3 den Hauptteil dieses Busches und wird daher in acht zeitlich aufeinander folgende Etappen eingeteilt. Bei den späteren Etappen – etwa ab der genetischen Speicherung – betrifft der Speicherzustand vorwiegend Zeichen (Z-Information s. [Völ17]), die auf Reales oder Gedankliches nur hinweisen. Hierfür benutze ich den Begriff „indirekte“ Speicherung. Bei der technischen Speicherung weise ich besonders auf prinzipielle Grenzen hin. Sie wird schließlich durch die achte Etappe, die vernetzte Speicherung abgelöst. Sie hat teilweise bereits mit dem Internet begonnen und wird es wohl

künftig ermöglichen, auf alle gespeicherten (verfügbaren) Daten und Fakten unmittelbar, quasi sofort zuzugreifen. Das könnte für die Menschheit beachtliche, auch nachteilige Folgen bewirken.

Ein leidlich mit der genetischen und neuronalen Speicherung Vertrauter kann weitgehend die bewusst sehr kurz gehaltenen Abschnitte 3.4 und 3.5 überspringen. Das gilt teilweise auch für die gesellschaftlichen und technischen Speicher (3.6 und 3.7). Hier sind jedoch über das Übliche hinaus, mehrere wichtige und neue Aspekte eingeführt. Das gilt sogar für einige neuere Publikationen von mir, auf die dann mit Literaturangaben verwiesen.

Umfangreiche Literatur existiert zu den kulturellen Speichern [Ass00] und [Ass97]. Ausführlich untersucht Ernst in [Ern07] die Folgen in den Medienwissenschaften. Grundlegendes zum Denken und zur Sprache für unser Gedächtnis behandelt [Kli83]. Diese Grundlagen werden hier in den entsprechenden Abschnitten ohne Zitate ebenfalls sehr kurz behandelt. Für das Ziel dieses Buches war m. E. nicht mehr notwendig. Vor allem soll ja nur ausgewiesen werden, dass die Speicherung fundamental für fast alles, also für Welt, Denken, Wissenschaft und Kultur ist.

Leider habe ich zu diesem Buch kaum gedankliche Unterstützer finden können. Jedoch haben wiederum Herr Stefan Pohle und meine Frau sehr gründlich Korrektur gelesen. Ihnen gilt also mein besonderer Dank. Ich hoffe, dass ich alle Hinweise gründlich eingearbeitet habe. Alle Mängel und Fehler sind also letztlich durch mich verursacht. Auf alle Fälle wünsche ich mir aber von den Lesern ausführliche Kritik.

Horst Völz

im Juli 2019

# Inhalt

|   |    |
|---|----|
| 1. Einführung .....   | 1  |
| 2. Speicher, Ständigkeit und Zeit .....                       | 2  |
| 2.1. Ständigkeit und Wissenschaft .....                       | 3  |
| 2.2. Die Zeit .....   | 4  |
| 2.3. Speichern von Energie .....                              | 5  |
| 2.4. „Indirekte“ Speicherung .....                            | 6  |
| 3. Die acht Etappen der Speicherung .....                     | 7  |
| 3.1. Ständigkeit .....  | 7  |
| 3.2. Physikalisch-chemische Speicherung .....                 | 8  |
| 3.3. Egotrope Speicherung .....                               | 9  |
| 3.4. Genetische Speicherung .....                             | 9  |
| 3.5. Neuronale Speicherung .....                              | 16 |
| 3.5.1. Gedächtnisse .....                                     | 18 |
| 3.5.2. Gedächtnisinhalte .....                                | 20 |
| 3.5.3. Drei Zeit-Gedächtnisse .....                           | 21 |
| 3.5.5. Typische Gedächtnisarten .....                         | 24 |
| 3.5.6. Gedächtnis und Zeit .....                              | 25 |
| 3.5.7. Vergessen und Fälschungen .....                        | 26 |
| 3.6. Gesellschaftliche Speicher .....                         | 27 |
| 3.6.1. Gedächtnis der Geschichte .....                        | 30 |
| 3.6.2. Weitere Gedächtnisse .....                             | 31 |
| 3.7. Technische Speicherungen .....                           | 31 |
| 3.7.1. Speicherzellen .....                                   | 32 |
| 3.7.2. Grenzen .....  | 34 |
| 3.7.3. Zugriff bei mehreren Speicherzellen .....              | 37 |
| 3.7.4. Entwicklung der Technik .....                          | 42 |
| 3.7.5. Kenndaten .....  | 47 |
| 3.7.6. Volumenredundanz .....                                 | 52 |
| 3.7.7. Inhaltliche Grenzen und spezielle Speichervarianten .. | 54 |
| 3.7.8. Rückrechnung und Prognose .....                        | 58 |
| 3.8. Vernetzte Speicher .....                                 | 61 |
| 4. Zusammenfassung .....                                      | 62 |
| 5. Folgerungen und Möglichkeiten .....                        | 65 |
| 6. Literatur .....  | 74 |
| 7. Natur-Konstanten .....                                     | 76 |
| 8. Sachwortverzeichnis .....                                  | 77 |



## 1. Einführung

Die Herkunft des Begriffes Speicher ist lateinisch spica, die Ähre, altlateinisch spicarium das Vorratshaus (Getreidespeicher), althochdeutsch spīhhāri und mittelhochdeutsch spīcher. Seit geraumer Zeit wird im Deutschen der Begriff jedoch viel allgemeiner benutzt. Das wird hier sogar noch im Sinne von Speichern als ein Aufheben für später erweitert. Speichern wird dabei sogar zu etwas Fundamentalem. Die dabei entstehende große Vielfalt wird hier aber erst schrittweise entwickelt. Unabhängig davon ist heute aber vor allem der Informationsspeicher besonders wichtig und daher bereits technisch in vielen Varianten vorhanden. In anderen *Sprachen* werden fast immer mehrere, speziellere Begriffe mit typischen Unterscheidungen benutzt:

- **Englisch:** store, storage und storage battery. amnesia, attic, cache, elevator, granary, lethe, loft, mem, memory, mention, mind, mnemonic, pantheon, recollection, record (ing), register, reminder, reservoir, retrospection, stockpile.
- **Französisch:** commémorative, emmagasiner, enregistrar, entrepôts, grenier, mémoire, rappel, réminiscence, silos, sauvegarder, souvenir, stocker.
- **Italienisch:** accumulare, deposito, memoria, memorizzare, reminiscenza, ricordo, rievocazione, rimessa, salvare, soffitti.
- **Spanisch:** acuerdo, conmemoración, desván, evocación, guardar, memoria, memorias, recordatorio, recuerdo, rememoración, reminiscencia, retentiva, salvar.

Eine vorläufige, allgemeine *Definition* des universellen Speicherns könnte so lauten:

*Ein Speicher ist ein stoffliches (materielles) Objekt, System oder räumlich abgegrenzter Bereich, in dem „Etwas“ zur späteren, oft auch mehrfachen Nutzung (Anwendung) als Speicherzustand gespeichert, aufgehoben, gelagert usw. wird. Dabei kann das Etwas auch teilweise zum Objekt gehören oder nur speziell ausgewählte, aber vorhandene Eigenschaften eines Objektes betreffen. Das Etwas kann auch bereits in der Vergangenheit vorhanden oder hineingetan sein oder es soll erst dort noch hineingetan werden. Die Verwendung (Nutzung) des Etwas (des Speicherzustandes) erfolgt mit der Wiedergabe (Ausgabe) für Etwas und kann drei Varianten betreffen, die den 8 Arten der Speicherung gemäß Tabelle1, S. 8 übergeordnet sind:*

1. *Unmittelbar den Stoff betreffend z. B. als Material oder (Gebrauchs-) Gegenstand, wie Getreide, Rohmaterial und Geräte,*
2. *die enthaltene Energie, vor allem zur Verrichtung von Arbeit, wie mittels Elektrizität und Brennstoff oder*
3. *als Verweis (Indirektes) auf ein Anderes, wie Objekte, Zeichen, Begriffe, Daten, Ideelles, Geistiges, Information oder Wissen (s. S. 54ff., 80).*

Diese Dreiteilung wurde bereits in den 1940er Jahren von Norbert Wiener mit seiner Kybernetik ganz allgemein für Prozesse, Geschehen usw. bzgl. der Information eingeführt [Wie48] S. 192:

*„Trotzdem ist die Energie, die für eine einzelne Operation verbraucht wird, beinahe verschwindend gering und bildet nicht einmal ein angemessenes Maß der Funktion selbst. Das mechanische Gehirn scheidet nicht Gedanken aus »wie die Leber ausscheidet«, wie frühere Materialisten annahmen, noch liefert sie diese in Form von Energie aus, wie die Muskeln ihre Aktivität hervor-*

bringen. *Information ist Information, weder Stoff (H. V.: *englisches Original matter*<sup>1</sup>) noch Energie. Kein Materialismus, der dieses nicht berücksichtigt, kann den heutigen Tag überleben.*“

Um 1990 habe ich diese Dreiteilung gemäß dem Kontext bei Wiener als drei wichtige Modelle zur Weltbeschreibung interpretiert und mit dem **Bild 1** verdeutlicht [Völ91]. Mit den weiteren Untersuchungen gelangte ich dann schrittweise zu einer exakten Definition von Information (s. S. 54).



**Bild 1.** Zu den drei Modellen und Besonderheiten der Wissenschaft.

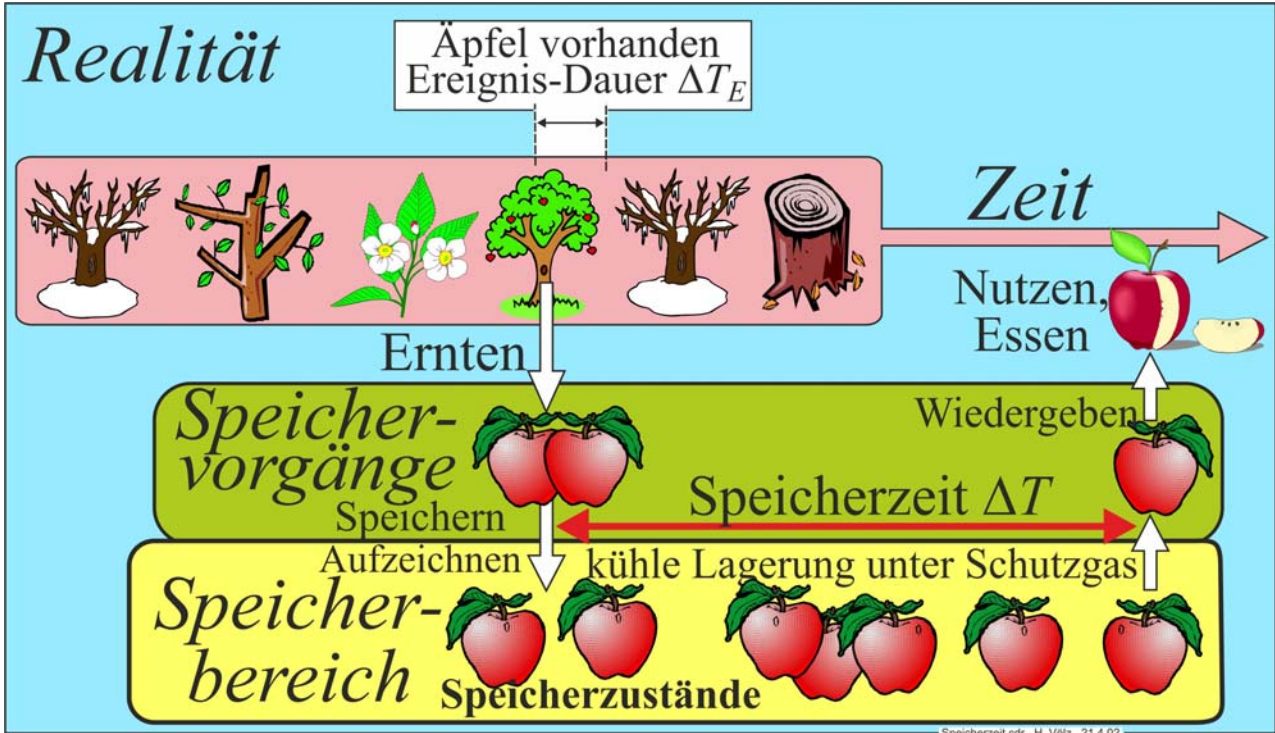
## 2. Speicher, Ständigkeit und Zeit

Ein anschauliches, wenn auch recht spezielles, aber dennoch typisches Beispiel für die stoffliche Speicherung zeigt **Bild 2**. Äpfel sind eigentlich nur im Herbst zum Verzehr zu ernten. Werden sie jedoch in einem kühlen Raum und unter Schutzgas gelagert (gespeichert), so wird dadurch ihr Stoffwechsel deutlich reduziert und es erfolgt eine Stabilisierung des Speicherzustandes. So bleiben sie in ihrer Qualität recht lange, oft über das Frühjahr hinaus, gut erhalten. Nach einer beliebigen Zeit können sie daher zum Verzehr entnommen werden (Wiedergabe). Ganz ähnlich ist es beim Haltbarmachen (Lagern, Speichern) von Lebensmitteln, wie Einwecken, Konservieren, Einfrieren und Vakuumieren. In Analogie hierzu speichert der Mensch u. a. Geräte, Werkzeuge, Ersatzteile, Rohstoffe und Zwischenprodukte zum späteren Gebrauch. Genau in diesem Sinne können auch evolutionsgeschichtliche Erdeinlagerungen von Kohle, Erz, Mineralien bis zu Fossilien betrachtet werden. Ja selbst Sammlungen von Museen und Galerien bis zu Privat lassen sich so als Speicher einordnen. Vielfach sind die Objekte dann aber nicht frei zugänglich und werden durch verschlüsselte Gebäude oder gar durch komplizierte Sicherungen wie Zäune, Alarmanlagen usw. geschützt. Speichern – im Sinne von Sammeln und Besitzen – ist sogar eine weit verbreitete menschliche Leidenschaft – und sie kann genau wie Spielsucht zum Ruin führen. Das beschreibt Mark Twain in „Die Geschichte des Hausierers“. Der Onkel des Erzählers ist ein passionierter Sammler. Jedoch, immer wenn eine Sammlung vollständig zu werden scheint, bekommt er nicht das letzte, also entscheidende Stück. Daher beginnt er immer wieder mit neuen Sammelobjekten. Schließlich entsteht die kuriose Idee, Echos zu besitzen. Als diese Sammlung vollständig zu sein scheint, wird ein größtes, achtfaches Echo entdeckt. Natürlich will er sofort Grund und Boden der beiden entsprechenden Berge besitzen. Doch sie gehören verschiedenen Eigentümern. Als er den ersten Berg erworben hat, taucht ein völlig neuer Sammler auf und erwirbt den anderen schneller. Dann will jedoch keiner seinen Anteil abgeben, sondern unbedingt den anderen Berg dazu erwerben. Der Streit dauert und dauert, bis der

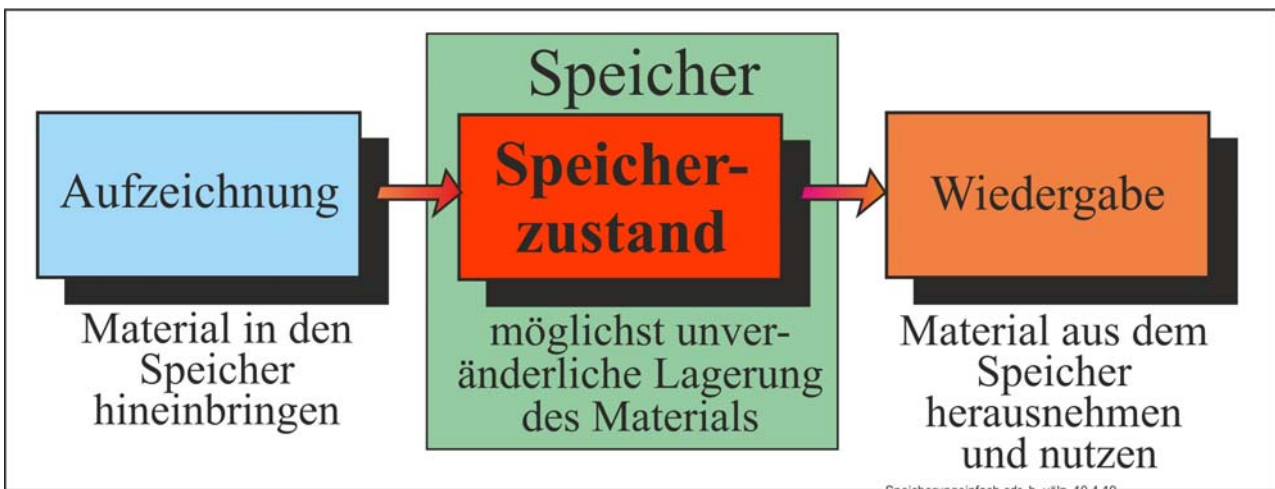
<sup>1</sup> In der Philosophie werden Materie und Bewusstsein unterschieden. Dabei gehören zur Materie Stoff und Energie und sind unabhängig vom Bewusstsein. Deshalb habe ich hier *matter* wohl richtiger mit Stoff übersetzt. Auf die minimale Energie bei der Speicherung wird auf S. 32ff. genauer eingegangen.

zweite Sammler aus Verärgerung seinen Berg abtragen lässt. Da drängt sich vielleicht Goethes Faust auf: „Was du ererbt von deinen Vätern hast, erwirb es, um es zu besitzen! Was man nicht nützt, ist eine schwere Last.“ Nebenbei sei nur noch Böll erwähnt. Er lässt seinem Dr. Murkes sogar Schweigen, also Sprechpausen sammeln!

Für die weiteren Betrachtungen ist eine schematische Vereinfachung der stofflichen Speicherung gemäß **Bild 3** vorteilhaft.



**Bild 2.** Anschauliches Beispiel für eine Speicherung.

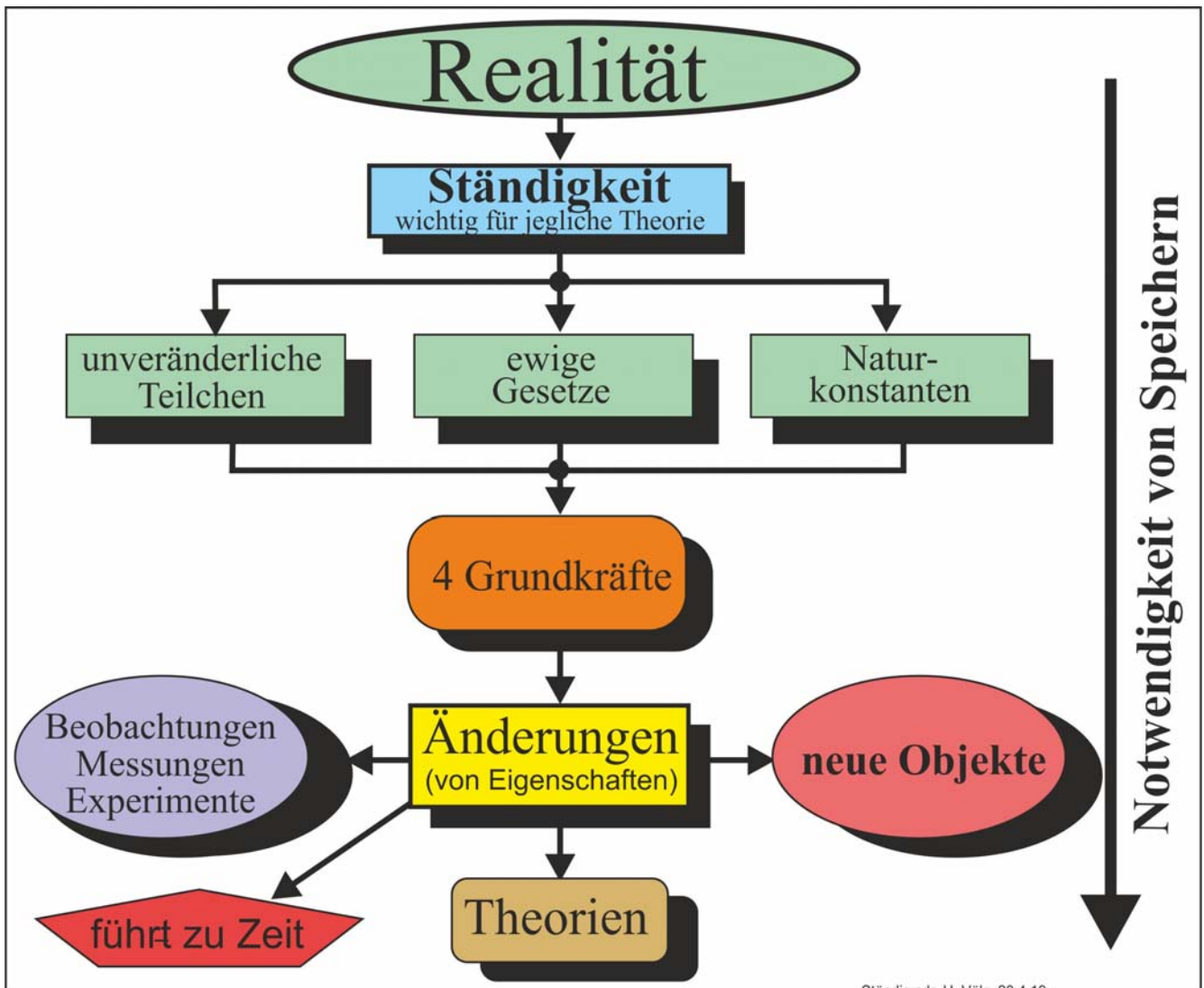


**Bild 3.** Vereinfachtes Schema der stofflichen Speicherung.

### 2.1. Ständigkeit und Wissenschaft

Absichtlich realisiert nur der Mensch das Speichern. Unmittelbar kommt sie aber bereits und vielfältig in der Realität (Wirklichkeit) und bei allen Lebewesen vor. Für die jeweiligen Speicherzustände sind dabei vor allem die immer oder zumindest langfristig stabilen Stoffe grundlegend und zwar von den Elementarteilchen über die Atome, Moleküle, großen sowie komplexen Objekte bis hin zu astronomischen Gebilden. Wesentlich dafür ist vor allem die Ständigkeit mit den ewig und überall gültigen Naturgesetzen und Konstanten, wie Lichtgeschwindigkeit, absoluter Nullpunkt und Boltzmann-Konstante. Sie

sind dabei sogar die notwendigen Grundlagen der Wissenschaft. Eigentlich müssten aber die Naturgesetze und Konstanten irgendwo oder vielleicht irgendwie in den Elementarteilchen gespeichert sein. Neben den so unveränderlichen Werten treten in der Realität auch Änderungen bei den Eigenschaften vieler Objekte auf und zusätzlich bilden sich neue, auch andere Objekte. Zuständig dafür sind die vier Grundkräfte: Gravitation, elektromagnetische sowie starke und schwache Kraft (Wechselwirkung). Diese Änderungen und das daraus folgende Geschehen sind mittels Beobachtungen, Messungen und Experimente feststellbar, aber nur z. T. berechenbar. Daher müssen sie oft für die Wissenschaft und ihre Anwendungen gespeichert werden. Da von den Änderungen auch die Speicherzustände betroffen werden können, sind dann auch besonders langfristige Stabilisierungen notwendig. Schematisch zeigt diese Zusammenhänge **Bild 4**. (s. auch Abschnitt 3.1).



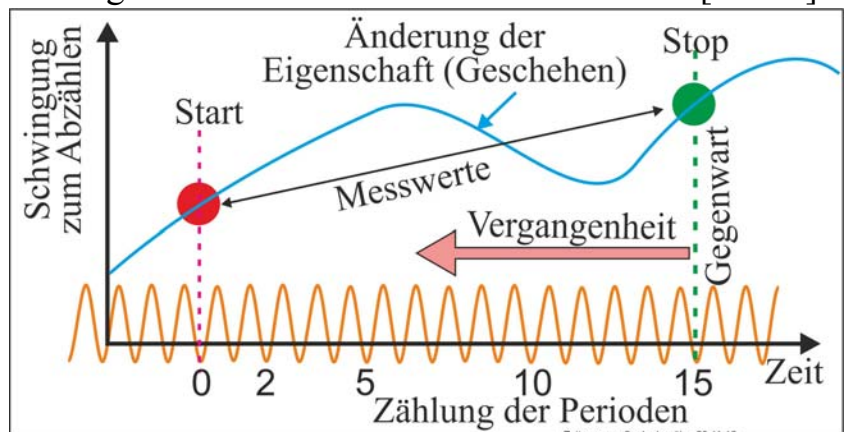
**Bild 4.** Zusammenhänge bezüglich Ständigkeit und Änderungen.

## 2.2. Die Zeit

Mittels unserer Sinne können wir nur die aktuelle Gegenwart wahrnehmen. Die Vergangenheit ist nicht mehr wahrnehmbar. Sie existiert aber auch in der Realität nicht mehr, denn auch physikalisch, messtechnisch ist sie ebenfalls nicht nachträglich bestimmbar. Wegen ihres generellen Fehlens in der Realität kann sie entgegen einigen Annahmen auch nicht unveränderlich sein. In der Geschichtswissenschaft werden die Dokumente als



gespeicherte Vergangenheit sogar ständig neu Interpretiert [Gof99]. Eigentlich gibt es daher keine physikalische Zeit, die ähnlich wie z. B. bei Masse oder Länge durch ein Normal zum Vergleich bestimmt werden kann. Erst mittels etwas, das in der Vergangenheit gespeichert wurde wissen wir einiges über die Vergangenheit und durch Zusammenfassung mehrerer so erkennbarer Änderungen können wir daraus dann auch etwas von der Zukunft erahnen. Diese Zusammenhänge verdeutlichen die erheblichen Vorteile für viele Lebewesen und natürlich besonders für den Menschen, und zwar so wie im Abschnitt 3.5 gezeigt, dass erst die Entstehung von Gedächtnissen mit der Evolution (s. S. 18ff.), etwas von der Vergangenheit gespeichert wird. So wurden Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft deutlich unterscheidbar und dadurch entstand der subjektive Zeitbegriff durch die Vergangenheit. Sogar die Zeitrichtung folgt daraus. In der Wissenschaft ist die Zeit deshalb nur ein menschliches Mittel zur Ordnung von Änderungen. Sie kann daher auch nur mittelbar gemessen werden und zwar etwa so, wie wir eine Stoppuhr benutzen. Dazu werden die Schwingungen (Takte) einer hochkonstanten Frequenz zwischen den Ereignissen „Start und Stopp“ gezählt (**Bild 5**). Die „verstrichene Zeit“ wird folglich in der **Anzahl** der Sekunden, Minuten, Stunden, Tage oder Jahre angegeben. Genau so ist auch im System International (SI) die Zeitdauer der Sekunde gesetzlich festgelegt. Für die Nutzung sind dann teilweise noch zusätzlich genaue Starts für das Zählen (gesetzlich) festgelegt, z. B. Mitternacht oder Jahresbeginn. Für weitere Details der Zeit siehe [Völ19].



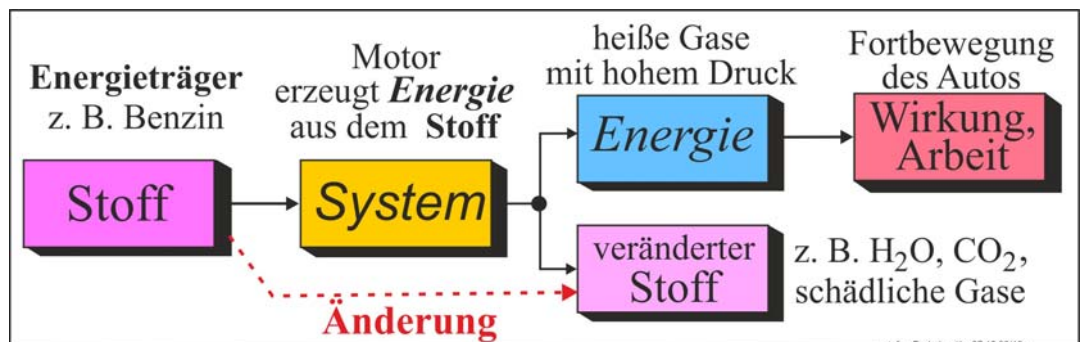
**Bild 5.** Prinzip der „Zeitmessung“ durch Abzählen der Perioden zwischen zwei Messpunkten: Start - Stop.

### 2.3. Speichern von Energie

Für die Speicherung, genauer den Speicherzustand (s. o.) müssen allgemein möglichst stabile Objekte und/oder deren Eigenschaften benutzt werden. Bei der Energiespeicherung ist es deutlich anders. Das Wort Energie geht auf altgriechisch *energeia* zurück und hatte damals eine rein philosophische Bedeutung im Sinne von lebendiger Wirklichkeit und Wirksamkeit. Als naturwissenschaftlicher Begriff wurde es 1807 von Thomas Young in die Mechanik eingeführt. Die Energie sollte die Stärke von Wirkungen angeben, die ein bewegter Körper durch seinen Impuls  $m \cdot v$  (Masse  $m$  mal  $v$  Geschwindigkeit) hervorruft. Ihr Inhalt wurde danach immer allgemeiner für die verschiedenen Energieformen – potentielle, kinetische, chemische, elektrische oder thermisch Energie – präzisiert. Gemäß dem Energieerhaltungssatz kann dabei die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems weder erhöht noch gesenkt, sondern nur (teilweise) zwischen den Energieformen gewandelt werden. Wesentlich wurde schließlich, dass die Energie die Fähigkeit besitzt, Arbeit zu verrichten, z. B. ein Objekt zu verändern, zu bewegen, zu beschleunigen, seine Temperatur zu ändern oder elektromagnetische Wellen abzustrahlen. Sowohl das Speichern als auch Wiedergeben bedeuten daher automatisch – und zwar ganz im Gegensatz zur Spei-

cherung von Stoffen – eine Änderung des Speicherzustandes, also des Energiespeichers oder genauer des Energieträgers. Dabei kann auch Energie von einem (Teil-) System zu einem anderen übertragen werden, wobei allerdings der zweite Hauptsatz der Thermodynamik deutliche Grenzen setzt. Für die Wandlung von thermischer in mechanische Energie gilt z. B. der Carnot'sche Kreisprozess, mittels dem sich der dabei erreichbare Wirkungsgrad berechnen lässt. Ein einfaches, anschauliches Geschehen für die Anwendung von Energiespeichern zeigt **Bild 6**. Das Benzin ist hier der Energiespeicher. Bei seiner Verbrennung entsteht eine hohe Temperatur des Gases, welches den Kolben bewegt und so die Arbeit als Bewegung des Autos bewirkt. Neben der Energieumwandlung entstehen aber aus dem Benzin auch unerwünschte „Abfallprodukte“, unter anderem als schädliche Gase.

**Bild 6.** Verbrennungsmotor als Beispiel für die Energiespeicherung.



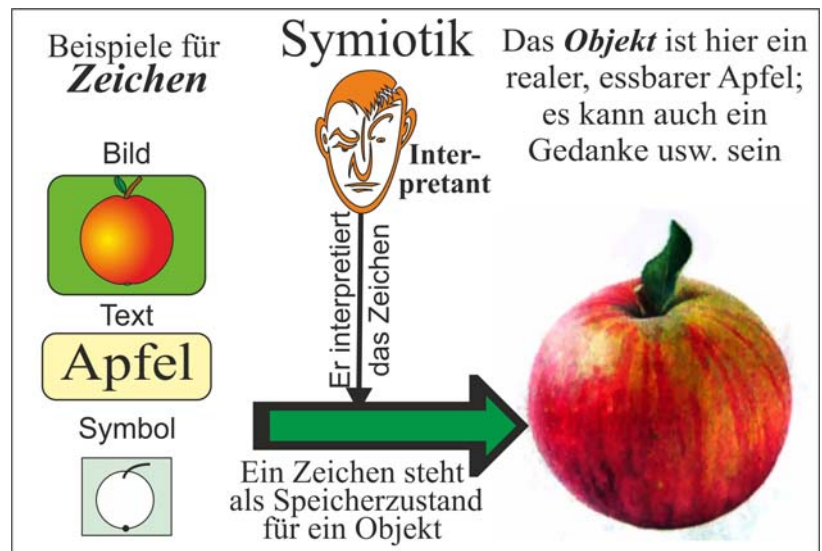
Folglich ist die Energie kein eigenständiges Objekt und bei der Speicherung können zwei Arten unterschieden werden: Zum einen existieren die eigentlichen, primären **Energieträger**, welche Energie aufnehmen (speichern) bzw. abgeben können (u. a. Kohle, Kraftstoffe, und Kernbrennstoffe, elektrische Akkus, Batterien, Kondensatoren, Speicherseen, Porenspeicher in der Erde, Schwungräder und teilweise auch Brennstoffzellen und Heißwasserspeicher). Zum anderen sind oft **Energieleiter** (vor allem für elektrischen Strom, Erdgas oder Wärme) erforderlich, welche Energie von und zu Energieträgern bzw. zu den Nutzern übertragen. Wichtige Kennwerte für die Energiespeicher sind Speicherzeit, Energie/Volumen, Zykluszahl und Verluste bzw. Wirkungsgrad. Für den Entwicklungsstand der Industrie und den Lebensstandard der Menschen ist die verfügbare Energiemenge wesentlich. Sie ist aber weltweit sehr unterschiedlich verfügbar, nämlich in den Industrieländern um ein Vielfaches höher als z. B. in denen der Dritten Welt. Heute wird der weltweite Energiebedarf zu etwa 40 % mittels elektrischer Energie gedeckt. Dabei werden rund 20 % für elektrische Antriebe, 19 % für Beleuchtung, 16 % für Klimatechnik und 14 % für die Informationstechnik verbraucht. Da sowohl bei der Erzeugung (u. a. Windkraftwerke und Photovoltaik) und beim Verbrauch starke Schwankungen auftreten sind wirksame, elektrische Energiespeicher immer noch ein großer Engpass.

## 2.4. „Indirekte“ Speicherung

Bei den drei oben behandelten Arten der Speicherung existiert im Speicher immer ein genau definierter stofflicher, materieller Speicherzustand. Er ist bzw. wird beim Einspeichern (Aufzeichnen) in seinen Eigenschaften festgelegt und soll sich bis zur Wiedergabe möglichst nicht oder höchstens sehr wenig ändern. Mit der direkten Speicherung wird er bei der Wiedergabe möglichst unverändert selbst und unmittelbar genutzt. Bei der Energiespeicherung erfährt er dagegen eine absichtliche Änderung, die in eine Energie für die Nutzung (Arbeit) gewandelt wird. Bei der nun zu behandelnden „indirekten“, besser vielleicht eigentlichen Speicherung wird der Speicherzustand qualitativ völlig anderes

genutzt. Er ist nur noch mittelbar (indirekt) wichtig und dient vor allem als Verweis auf oder Ersatz für etwas Anderes, das sowohl stofflich als auch ideell (geistig) sein kann und meist nicht einmal zum Speicher gehört oder dorthin gelangt. Schematisch zeigt diese zusätzliche Vermittlung **Bild 7**, sie erfolgt bei der Aufzeichnung und Wiedergabe. Unter anderem können so Gedanken, Ideen usw. eines Menschen mittels des stofflichen Speicherzustandes auch anderen zugänglich werden. Dieses Geschehen ähnelt (s. o.) teilweise der Speicherung der Vergangenheit und dürfte für die Evolution des Gedächtnisses sogar noch wichtiger gewesen sein. Denn die dabei entstandenen Speicherzustände waren und sind als Zeichen – zunächst als Figürchen, Bilder, Schriften und Zahlzeichen – eine wichtige Voraussetzung für ein gemeinsames Handeln, also für den Bestand von Gemeinschaft und Gesellschaft. Auch deshalb bedeutet diese Speicherung eine völlig neue Qualität. Es lassen sich so Begriffe, Klassen von Objekten, Axiomaten usw. bilden und verwenden. Teilweise treten dabei auch Unschärfen, Vereinfachungen usw. gegenüber den hingewiesenen Objekten und damit der Realität auf. Doch das hat auch Vorteile. Das ist genauer in der Semiotik und bei der Z-Information (s. S. 54) beschrieben. Bei dieser indirekten Speicherung ist für den Speicherzustand oft nur (sehr) wenig Energie- oder Stoffaufwand notwendig. Im Speicher muss jedoch mindestens eine eindeutige Orts- oder/und Energiebegrenzung gegenüber der Umgebung des Speicherzustandes erfüllt sein. Für den Menschen ist aber eine hinreichend große Energie zur eindeutigen Wahrnehmung notwendig. Bei den später hinzugekommenen technischen Speichern genügt jedoch ein hinreichender Störabstand. Weitere Details enthält u. a. [Völ18].

**Bild 7.** Gemäß der Semiotik und Z-Information steht ein Zeichen für Reales oder Geistiges.



### 3. Die acht Etappen der Speicherung

Im Laufe der Weltgeschichte entstand eine große Speichervielfalt. Stark verknüpft kann sie gemäß der **Tabelle 1** auf der nächsten Seite in acht aufeinander folgende Etappen (Arten) gegliedert werden. Dabei ist zu beachten, dass die älteren Etappen bis in die Gegenwart wirken und dabei, wenn auch oft in erheblicher Wandlung, weiterhin benutzt werden und dabei sogar immer wieder Neues erzeugen können.

#### 3.1. Ständigkeit

Die erste Etappe der Ständigkeit ist durch die immer und überall gültigen Gesetze und Konstanten bestimmt. Sie stellt faktisch die frühesten stabilen Speicherzustände bereit. Ihre inhaltliche „Herkunft“ dürfte aber wohl kaum zu erklären sein. Sie sind jedoch eine entscheidende Grundlage für alle Wissenschaft. Ihre Konstanten haben sich aus vielen Messungen ergeben und besitzen daher immer einen gewissen Toleranzbereich. Eine Analogie hierzu stellen die mathematischen Konstanten dar. Sie leiten sich über Grenzwerte, Reihen usw. aus den Gesetzen der Mathematik ab und besitzen daher theoretisch



eine unendliche Stellenzahl. Beide Varianten sind in der zweiten **Tabelle**, allerdings ohne Bezug zwischen den beiden Spalten gegenübergestellt. Von den Naturkonstanten wurden nur wenige als Beispiel ausgewählt. Eine wahrscheinlich vollständige Liste von ca. 40 Konstanten befindet sich im Anhang [Völ96]. Eine ähnlich vollständige Zusammenstellung für die mathematischen Konstanten ist nicht bekannt. Die Periodenverdopplung wurde sogar erst 1978 durch Feigenbaum bei den Fraktalen, also der Rekursion, gefunden.

| Art, Etappe                      | Wo fixiert  | anthropomorpher <sup>2</sup> Zweck, Ziel  | Alter/<br>Jahre      |
|----------------------------------|---|---|----------------------|
| <b>Ständigkeit</b>               | Realität.   | Gültigkeit der Gesetze und Konstanten.  | →∞?                  |
| <b>physikalisch<br/>chemisch</b> | Stoff (Welle und Felder),<br>Kosmos, Erde, Objekte usw. | Sie geschehen einfach, Weltentwicklung,<br>komplexe Systeme mit vielen<br>Funktionen. | 1,5·10 <sup>10</sup> |
| <b>egotrop</b>                   | Unbekannt, später<br>Immunsystem, Knochenmark.          | Unterscheidung von Ich und Fremd,<br>Nutzen und Schaden (Schutz).                     | >3·10 <sup>9</sup>   |
| <b>genetisch</b>                 | DNS-Sequenzen<br>(Chromosomen).                         | Erhaltung von Art und individuellem<br>Leben.   | 3·10 <sup>9</sup>    |
| <b>neuronal</b>                  | Gedächtnis<br>(Neuronen und Synapsen).                  | <b>Anpassendes</b> Verhalten, Lernen.   | 5·10 <sup>8</sup>    |
| <b>gesell-<br/>schaftlich</b>    | Verteilt über viele Individuen<br>(Meme?).              | Gemeinsame Arbeit, Kultur, Zivilisation.  | 5·10 <sup>7</sup>    |
| <b>technisch</b>                 | Speichermaterial, Werkzeug.                             | Langer Erhalt außerhalb des Menschen.   | 5·10 <sup>4</sup>    |
| <b>vernetzt</b>                  | Internet, Expertensystem, KI                            | Sofort alles Wissen verfügbar.  | ab 1960              |

| Naturkonstanten             |   | Konstanten der Mathematik |  |
|-----------------------------|---|---------------------------|--|
| Plancksches Wirkungsquantum | $h = 6,62607554 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$                  | Exponentialwert           | $e = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$ 2,718 28... |
| Boltzmann-K.                | $k_B = 1,380 658 12 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$         | Euler-Konstante           | $C = 0,577 216...$   |
| Gas-Konstante               | $R_0 = 8,314 510 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$          | Kreisquadratur            | $\pi = 3,141 592 6...$   |
| Gravitations-Konstante      | $G = 6,672 598 5 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-2}$ | Diagonale des Quadrats    | $\sqrt[2]{2} = 1,414 213 56...$  |
| Lichtgeschwindigkeit        | $c_0 = 2,997 924 57 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$             | Goldener Schnitt, Fünfeck | $\frac{1}{2}(\sqrt{5} - 3) = 0,618 03...$                                    |
| Abs. Nullpunkt              | $T_0 = -273,15 \text{ °C}$                                  | Periodenverdopplung       | $F = 4,6692016090...$  |

### 3.2. Physikalisch-chemische Speicherung

Die physikalisch-chemischen Speicher sind zuerst und vor allem die Elementarteilchen. Deutlich später entstanden Stoffanhäufungen bis zu den Sternen, Planeten und Galaxien. Noch viel später bildeten sich insbesondere in der Erde Lagerstätten von Stoffen, wie Erz, Kohle, Metalle und Mineralien sowie für Wasser in Seen und Meeren. Sie alle werden heute vorteilhaft genutzt.

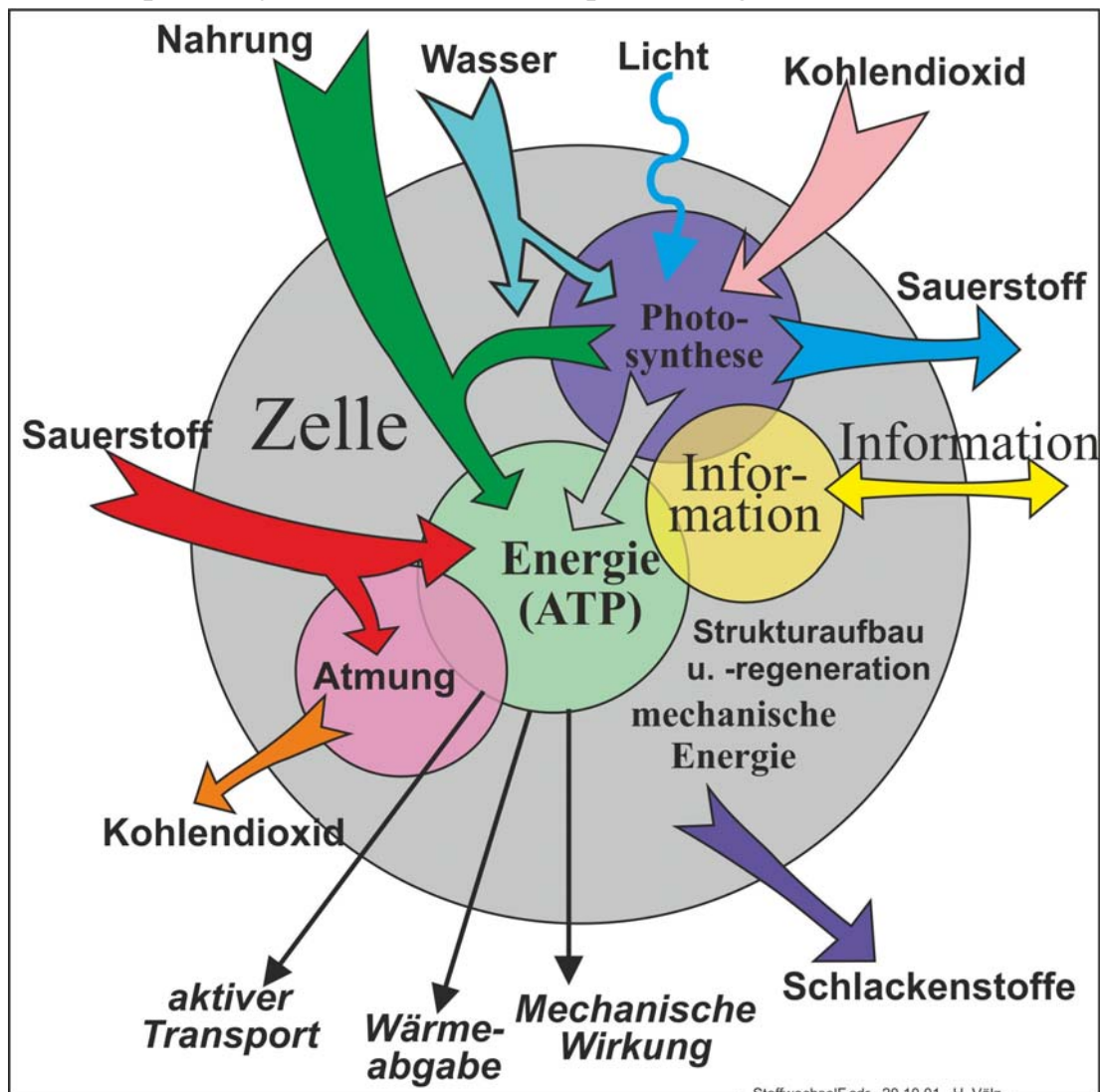
<sup>2</sup> Anthropomorph kommt vom *Griechischen* anthropos Mensch und morphein bilden, formen. Es bedeutet etwa: aus betont menschlicher Sicht, Vorstellung, die aber durchaus nicht der Wirklichkeit entsprechen muss.

### 3.3. Egotrope Speicherung

Die nur von mir eingeführte dritte egotrope Etappe ist eine wohl notwendige Vorstufe zum Leben. Hier entscheiden einzelne, recht einfache Gebilde (Teilchen) was für ihr Bestehen und ihre Weiterentwicklung nützlich bzw. schädlich ist. Dazu müssen sie Innen und Außen trennen und Externes verwenden oder meiden. So können sie größer und komplexer werden und damit so etwas wie sich vermehren und weiter entwickeln. Erst bei den höheren Lebewesen entsteht analog hierzu das Immunsystem [Völ03].

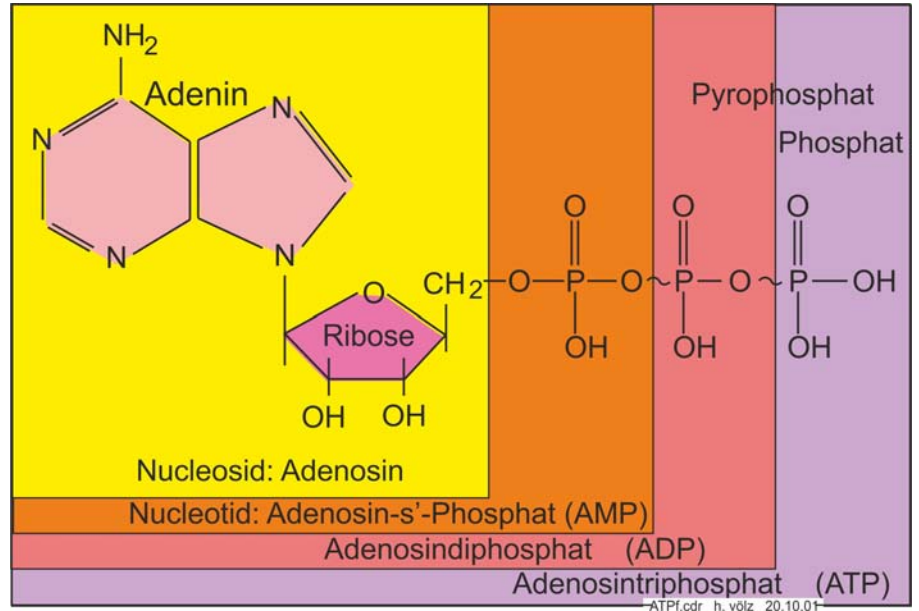
### 3.4. Genetische Speicherung

Erst die genetische Etappe ist umfangreich untersucht und weitgehend geklärt, wenn auch nicht in ihrer Entstehung. Sie betrifft alle Lebewesen und das Leben allgemein. Hierbei treten nebeneinander sogar alle drei Speicherarten auf. **1.** Die direkte, stoffliche Speicherung betrifft den vielfältigen Stoffwechsel und ist bezüglich eines Lebewesens schematisch in **Bild 8** zusammengefasst. **2.** Die Energiespeicherung existiert sogar unterschiedlich auf der Ebene jeder Zelle mittels des ATP (**Bild 9**) und umfangreicher bezüglich des Lebewesens mit den Fetten und Kohlehydraten (neben den Proteinen s. u.). **3.** Besonders komplex ist jedoch die indirekte Speicherung.



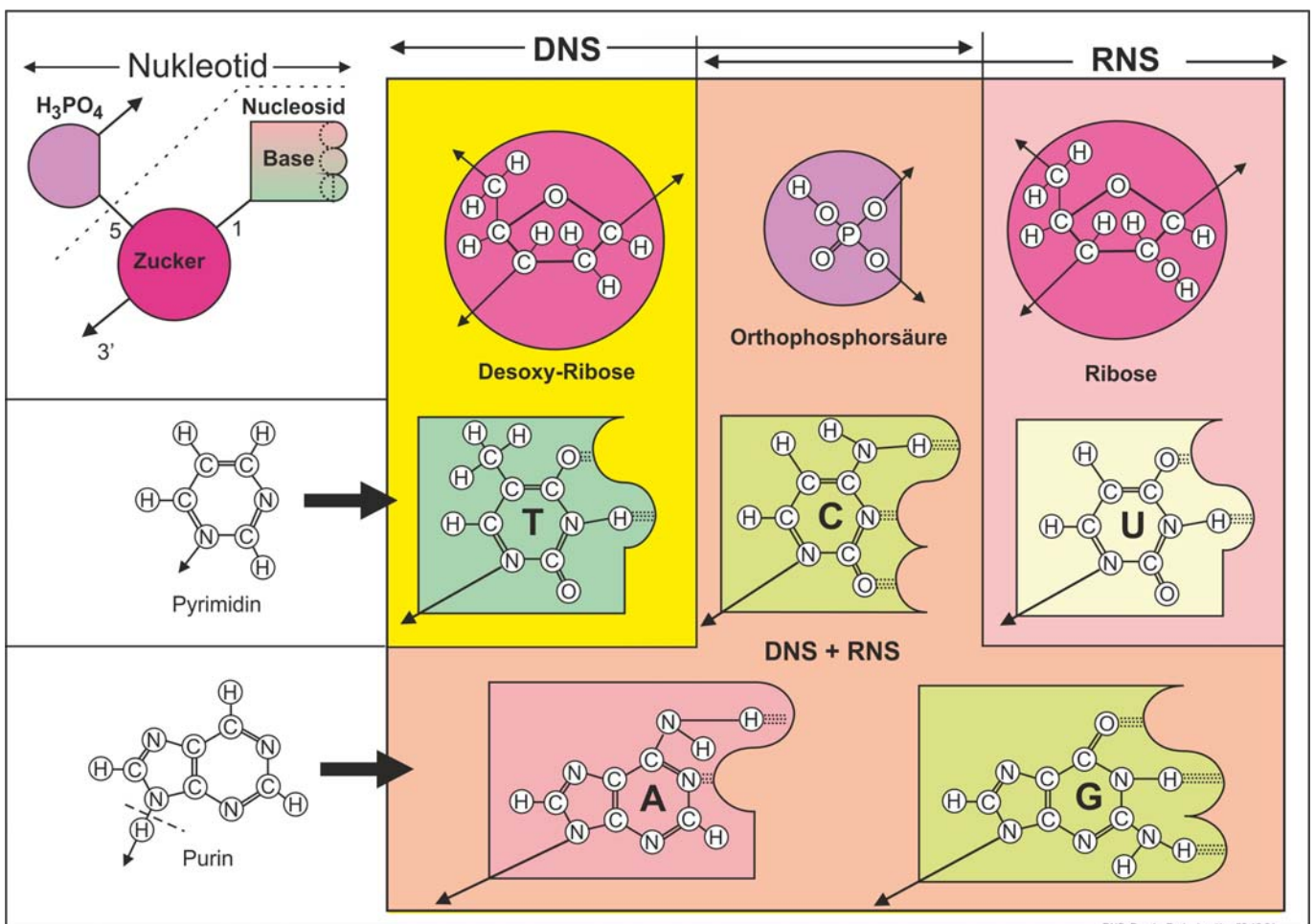
Stoffwechself.cdr 20.10.01 H. Völz

**Bild 8.** Die Vielfalt des Stoffwechsels beim Leben. Die Photosynthese existiert nur bei Pflanzen.



**Bild 9.** Die drei Abschnitte des ATP. Durch Ihren Aufbau bzw. Abbau erfolgt in der Zelle die Energiespeicherung und -nutzung.

Die Speicherung der notwendigen Daten erfolgt durch die DNS<sup>3</sup>. Sie ist gemäß **Bild 10** aufgebaut und entspricht in unserer Sprache den Buchstaben. Dreiergruppen aus ihnen kodieren (quasi als Wörter) die 20 Aminosäuren gemäß **Bild 11**.

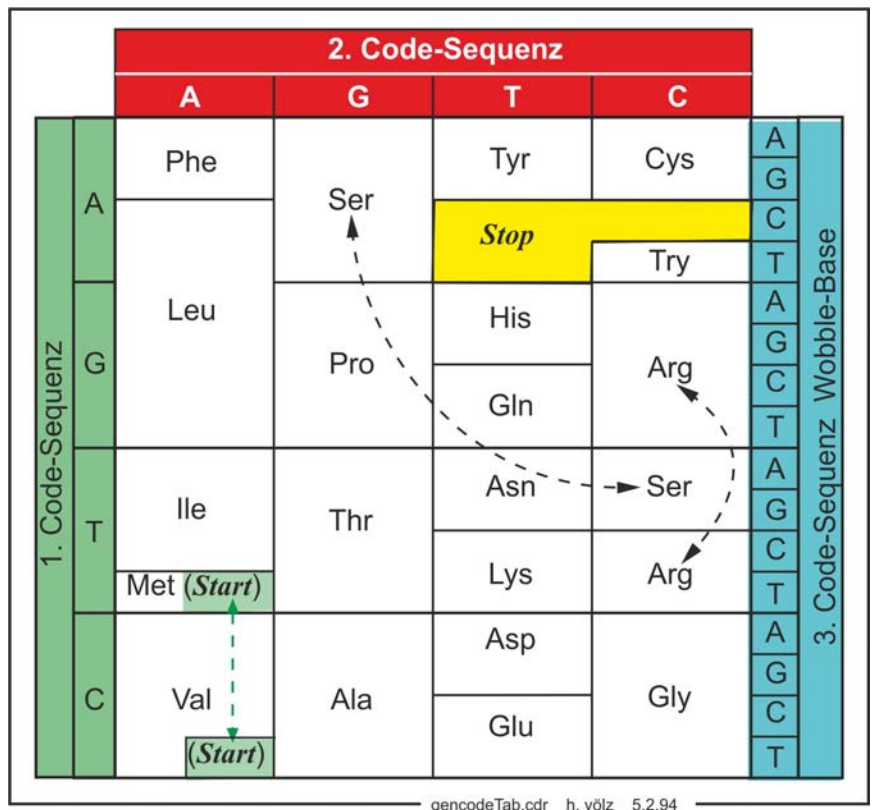


**Bild 10.** Elemente und Struktur der DNS. Das Nucleosid leitet sich einmal von der Verbindung Purin  $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4$  ab und erzeugt dabei Thymin (T) und Cytosin (C) und zum anderen vom Pyrimidin  $\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2$  Adenin (A) und Guanin (G).

<sup>3</sup> DNS Desoxy-Ribose-Nuklein-Säure (sprich des-oxy-nu-kle-in), engl. DNA (acid = Säure).

Die 20 existierenden Aminosäuren sind gemäß **Bild 12a** aufgebaut und unterscheiden sich durch die Radikale R (c). Über das saure und basische Ende können sie sich zum Dipeptid verbinden (b). Hintereinanderfügen von vielen Aminosäuren ergibt die Proteine.

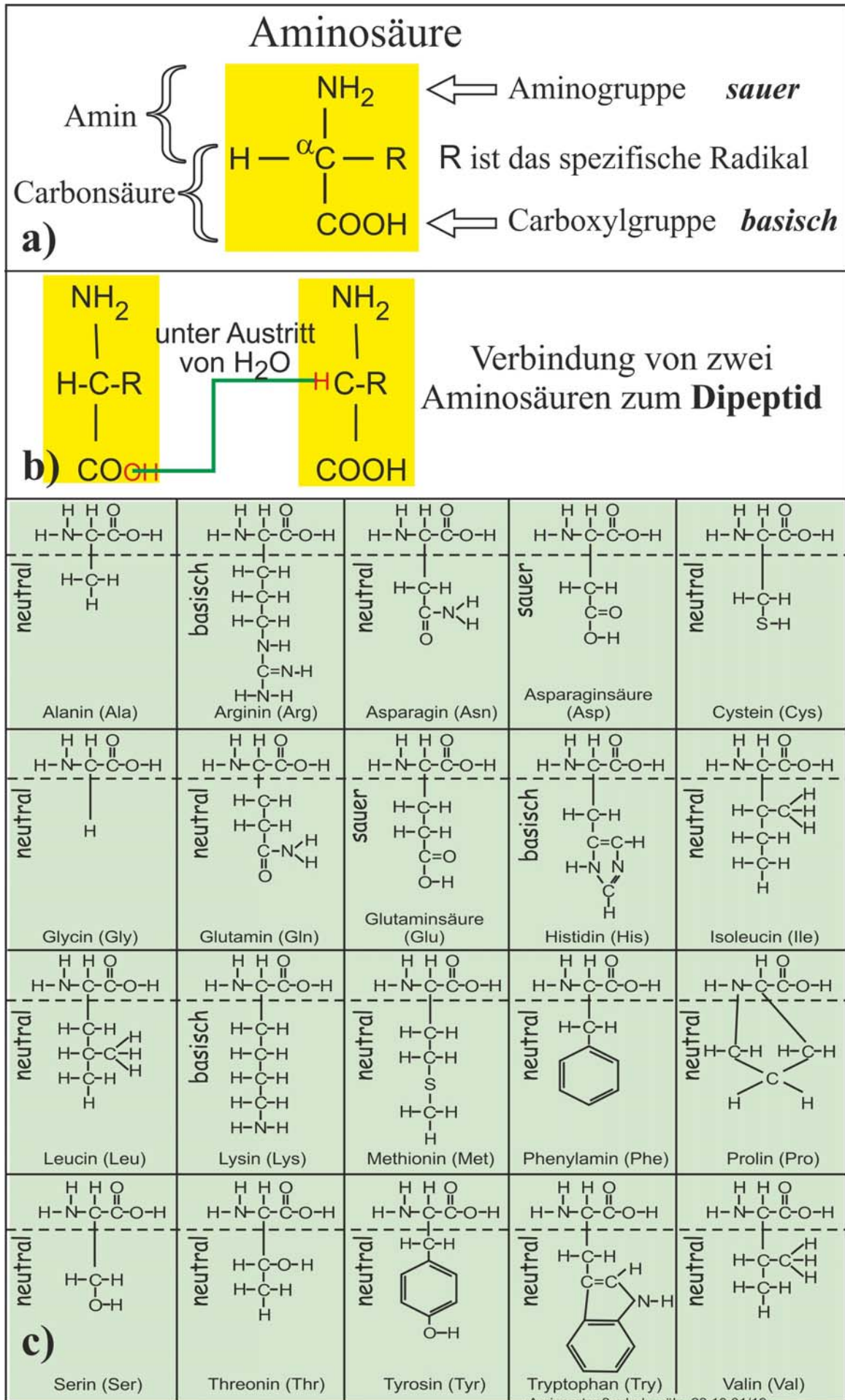
**Bild 11.** Gemäß der Kode-Tabelle kodiert z. B. die Folge **GTA** das Histamin (**His**). Der Beginn (**Start**) einer Aminosäure ist durch **TAT** oder **CAT** und das Ende (**Stop**) durch **ATC**, **ATT** oder **ACC** besimmt.



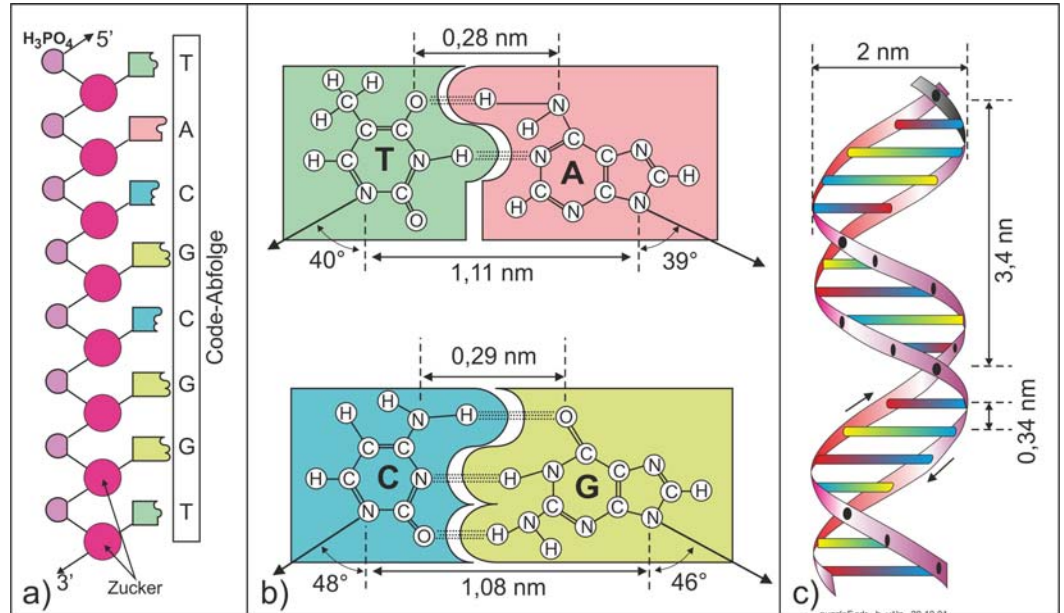
Zur Kodierung von Proteinen werden mehrere DNS aneinander gefügt (**Bild 13a**). Das so entstehende Gebilde (der Speicherzustand) besitzt nicht die notwendige Stabilität. Deshalb wird eine zweite Reihe mit „komplementären“ Nucleosiden erzeugt. Mit ihr wird die Doppelhelix (c) gebildet. Ihre Sprossen sind die Verbindungen der komplementären Nucleoside (b). Die genetische Speicherung ist also hoch komplex. Eine vereinfachte, schematische Zusammenfassung zeigt die **Tabelle**. Sie ist links von oben nach unten und rechts umgekehrt von unten nach oben zu lesen.

|   |  |
|---|--|
| Die <b>Speicherung</b> der Vererbungsdaten mittels <b>DNS</b> . (abwärts lesen ↓)   | <b>Nutzung</b> des Gespeicherten mittels <b>Proteinen</b> . (aufwärts lesen ↑)   |
| Die <b>DNS</b> im Zellkern ist der einzelne, primäre <b>Speicherzustand</b> .<br>Ihr Grundbaustein ist das <b>Nukleotid</b> , besteht aus: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orthophosphorsäure,</li> <li>• Zucker (Penthose) und</li> <li>• einer organischen Base A, G, T oder C.</li> </ul> Ketten aus $n = 10^4$ bis $10^{10}$ Nukleotiden bilden die <b>Doppelhelix</b> als komplexer Speicherzustand, der schließlich in den Chromosomen zuverlässig, langfristig gesichert wird | Ketten aus $m = 50$ bis 10 000 Aminosäuren erzeugen durch Peptid-Bildung die <b>Proteine</b> (Eiweiße).<br>Sie sind die Baustoffe der Lebewesen und/oder bewirken als <b>Enzyme</b> die erhaltenden Lebensprozesse.<br>Sie können vielfältige Sekundär- bis Quartär-Strukturen annehmen, die sich z. B. als Enzyme dynamisch ändern können.      |
| Zur Dekodierung gelangt aber nur die <b>RNS</b> als einsträngiger Abschnitt aus der DNS ins Zytoplasma. Sie besitzt einen anderen Zucker sowie das U statt C.   | Von der RNS werden die <b>Aminosäuren</b> kodiert. Grundbaustein der Proteine ist die <b>Aminosäure</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{NH}_2</math>, C, <math>\text{COOH}</math> als Komponenten,</li> <li>• <math>^\alpha\text{C}</math> als zentrales Atom und</li> <li>• einem Radikal von 20 Aminosäuren.</li> </ul> |
| Komplexität: $4^n \rightarrow 10^{0,6 \cdot n}$   | Komplexität: $20^m \rightarrow 10^{1,3 \cdot m}$   |
| <b>Je 3 Nukleotide kodieren eine der 20 Aminosäuren</b>   |  |





**Bild 12.** Aufbau und Struktur der 20 Aminosäuren und der Verbindung zu Proteinen.

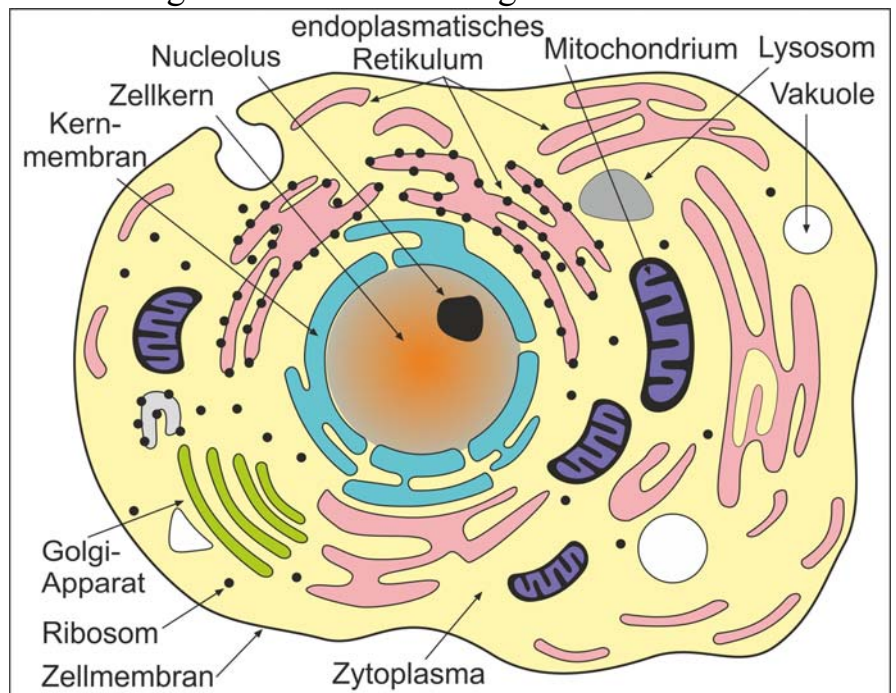


**Bild 13.** Zum Entstehen der Doppelhelix.

Eine verkürzte Zusammenfassung der Erzeugung eines Proteins aus dem DNS-Tripel zeigt **Bild 14** (nächste Seite). Die spezielle t-RNS stellt dabei die Verkopplung gemäß der Tabelle von Bild 12 her. An ihrem Kopfteil besitzt sie das Kodetripel. Am Ende trägt sie dazu gehörende Aminosäure. Die Dekodierung leistet das zweiteilige Ribosom. Dazu nimmt es einen Abschnitt der t-RNS auf (b) und bewirkt zugleich die Kopplung von jeweils zwei aufeinander folgenden Aminosäuren. Am Ende wird das vollständige Protein freigegeben.

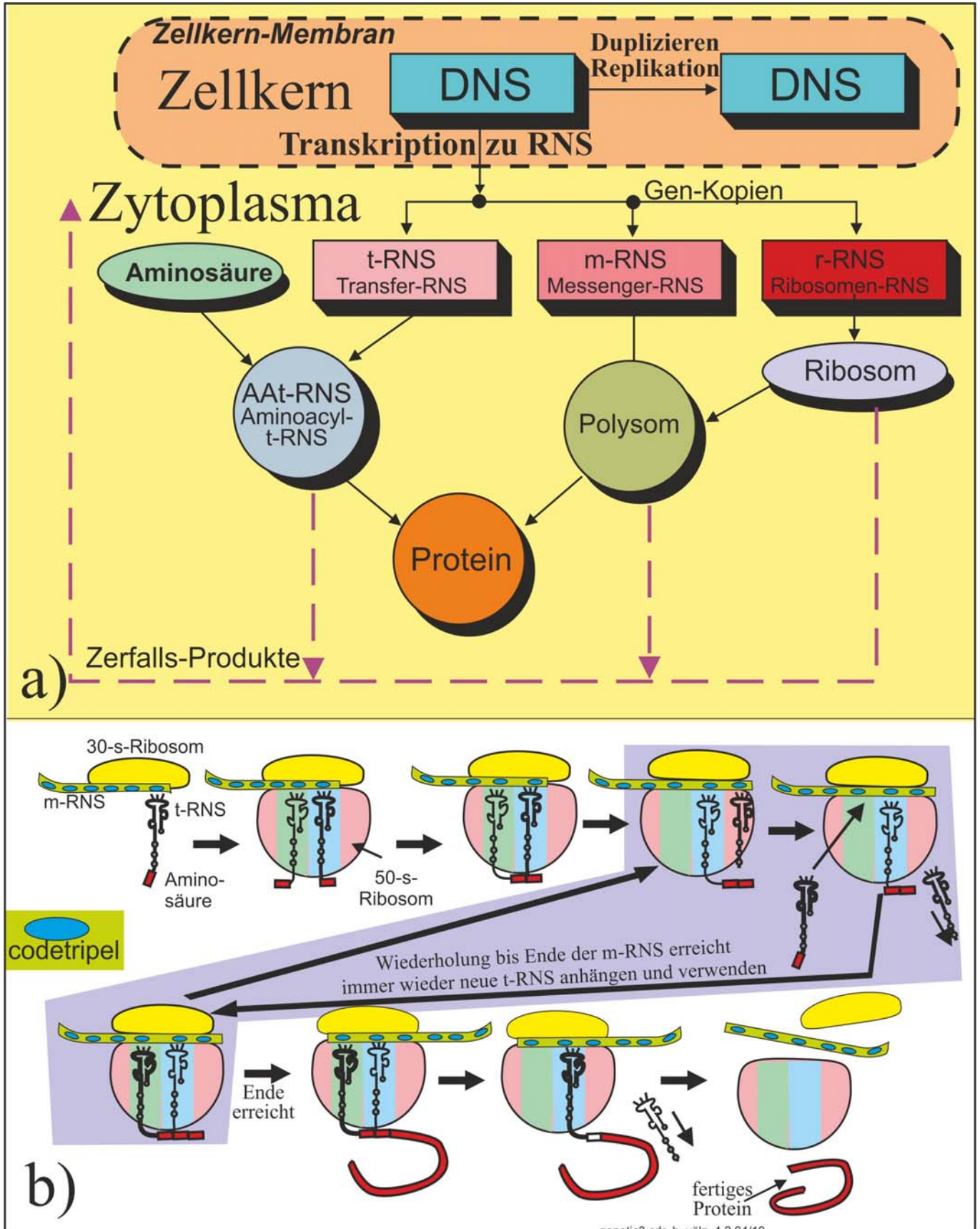
Die Realisierung aller Prozesse erfolgt in jeder einzelnen biologischen Zelle. **Bild 15** zeigt das typische Beispiel einer tierischen Zelle. Die meisten Lebewesen bestehen aus  $10^5$  bis  $10^{12}$  Zellen, beim Menschen sogar etwa  $10^{14}$ . Im Zellkern jeder Zelle ist die genetische Substanz der Doppelhelix vorhanden. Für die Zellteilung wird sie dort verdoppelt; für die Realisierung der genetischen Prozesse werden einsträngige RNS-Abschnitte erzeugt und in das Zytoplasma transportiert. Dort erfolgen u. a. die Prozesse gemäß Bild 15. Dazu sind

sehr viel Ribosomen – insbesondere auf dem endoplasmatischen Retikulum – vorhanden. Die Energie (ATP, Bild 9) für die Prozesse wird durch die Mitochondrien erzeugt. Je nach der Komplexität des Lebewesens gibt es auch spezialisierte Zellen, z. B. für Sinnesorgane oder Muskeln. Bei Pflanzen sind die Vakuolen besonders groß. Einfache Lebewesen sind deutlich einfacher aufgebaut. Sehr einfache Lebewesen bestehen sogar aus nur einer einzigen Zelle.



**Bild 15.** Typischer Aufbau einer tierischen Zelle.





**Bild 14.** Zusammenfassung der Dekodierung von der DNS bis zum Protein.

Zur Ergänzung seien noch einige quantitative Daten ergänzt: Viren besitzen  $10^4 - 10^6$  Nukleotide; Bakterien:  $10^5 - 10^7$ ; einfache Tiere und Pflanzen:  $10^7 - 10^9$ ; Säugetiere und Blütenpflanzen:  $10^9 - 10^{10}$ . Für die Menge des DNS-Materials je Zelle eines Lebewesens in pg gilt etwa Bakterien: 0.001 – 0.02; Pilze: 0.02 – 0.1; nahezu alle Tiere und einige



Pflanzen: 0.1 – 10; die meisten Pflanzen, Salamander und einige Fische: 5 – 100; der Mensch: 3,1. Alle Doppelhelices eines Lebewesens sind in jeder Zelle vorhanden und dabei unterschiedlich und in verschiedenen Chromosomen verpackt. Würden sie alle zu einem einzigen Strang aneinander gefügt werden, so ergäben sich z. B. die Längen gemäß den Tabellen unten. Die meisten Aminosäuren kann der Mensch selbst aufbauen. Es gibt aber acht essentielle Aminosäuren, die er direkt aus der Nahrung extrahieren muss. Deshalb muss er entsprechende Lebensmittel (u. a. Fisch) verzehren. Den täglichen Bedarf weist die Tabelle links unten aus.

Die Kodierung durch Tabellen (vgl. Bild 10) wurde später ähnlich, aber deutlich anders auch in der Technik angewendet. Vor allem diente sie dazu, dass bei einem Speicherkode nur wenige 0 bzw. 1 aufeinander folgen, was bei der Dekodierung die Takt-Regenerierung garantiert. Wohl erstmalig wurde dazu 1937 *GCR 4/5* (group code recording) bei Magnetbändern eingeführt (Tabelle 4 rechts). Entsprechend der nebenstehenden Tabelle wandelt sie jeweils 4 Signal-Bits in 5 Kanal-Bits um. Eine deutlich umfangreiche Tabelle benötigt *EFM* (eight to fourteen modulation), die bei der CD angewendet wird. Bei ihr werden 8 Signal-Bits in 14 Kanal-Bits umgewandelt. Die Tabelle besteht aus  $2^8 = 256$  Zeilen, wovon in der Tabelle nur der Anfang und das Ende dargestellt sind. Bei der DVD erfolgte die Weiterentwicklung zu komplexeren *EFMplus*. Auf weitere Beispiele sei hier verzichtet.

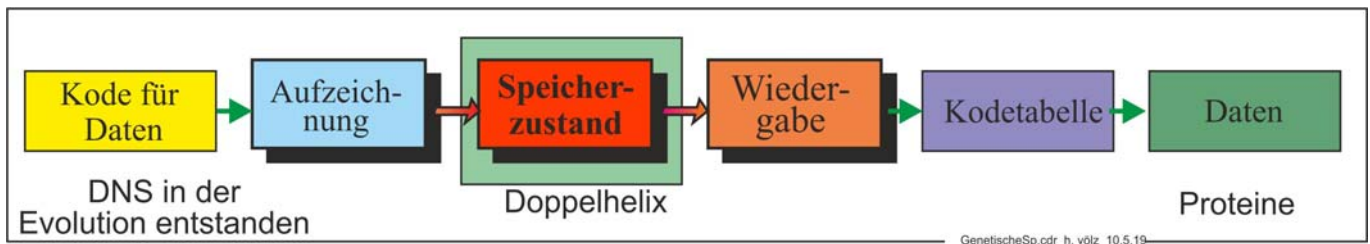
*Tabellen-Beispiele für Längen der DNS (links oben), den täglichen Bedarf des Menschen an essentiellen Aminosäuren (links unten) und zwei technische Tabellenkodierungen.*

| Art                  | Länge   |
|----------------------|---------|
| Mitochondrien Mensch | 5,6 µm  |
| λ-Phage              | 16,5 µm |
| Escherichia coli     | 1,36 mm |
| Hefe                 | 4,6 mm  |
| Drosophila           | 5,6 cm  |
| Seeigel              | 17 cm   |
| Krallenfrosch        | 1 m     |
| Mensch               | 1 m     |

| Aminosäure | tägliche Menge in g |        |
|------------|---------------------|--------|
|            | Männer              | Frauen |
| Valin      | 0,8                 | 0,65   |
| Leucin     | 1,1                 | 0,6    |
| Isoleucin  | 0,7                 | 0,45   |
| Lysin      | 0,8                 | 0,5    |
| Phenylamin | 0,3                 | 0,2    |
| Tryptophan | 0,25                | 0,15   |
| Methionin  | 0,2                 | 0,35   |
| Threonin   | 0,5                 | 0,3    |

| GCR 4/5 |       | EFM 8/14 (Auszug) |                |
|---------|-------|-------------------|----------------|
| Daten   | Code  | Daten             | Code           |
| 0000    | 11001 | 00000000          | 01001000100000 |
| 0001    | 11011 | 00000001          | 10000100000000 |
| 0010    | 10010 | 00000010          | 10010000100000 |
| 0011    | 10011 | 00000011          | 10001000100000 |
| 0100    | 11101 | 00000100          | 01000100000000 |
| 0101    | 10101 |                   |                |
| 0110    | 10110 |                   |                |
| 0111    | 10111 | ...               | ...            |
| 1000    | 11010 |                   |                |
| 1001    | 01001 |                   |                |
| 1010    | 01010 |                   |                |
| 1011    | 01011 | 11111011          | 01001000010010 |
| 1100    | 11110 | 11111100          | 01000000010010 |
| 1101    | 01101 | 11111101          | 00001000010010 |
| 1110    | 01110 | 11111110          | 00100000010010 |
| 1111    | 01111 | 11111111          | 00100000010010 |

Abschließend zeigt **Bild 15** die schematisch stark vereinfachte Zusammenfassung der genetischen Speicherung. Technisch wird die Tabellenkodierung relativ selten und besonders für deutlich einfachere Fälle angewendet. Häufiger sind algorithmische (programmtechnische) Verfahren. Dann sind aber immer die Daten und weitgehend auch der Kode durch die Anwendung vorweg bestimmt.



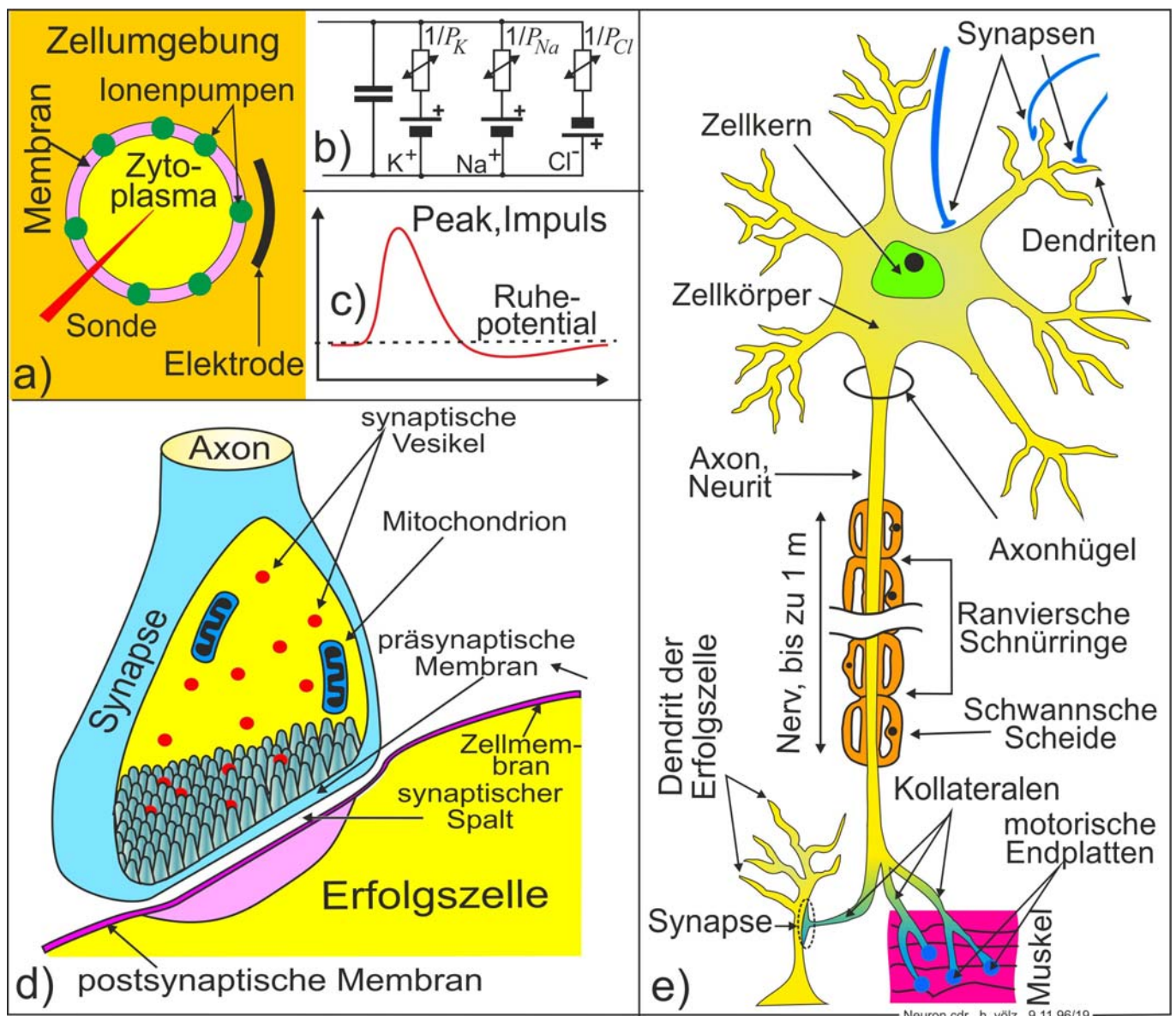
**Bild 15.** Vereinfachte Zusammenfassung der genetischen Speicherung.

### 3.5. Neuronale Speicherung

Mit der DNS legt die genetische Speicherung die Struktur und das Verhalten eines Lebewesens genau fest. Deshalb war und darf sich für sie die Umgebung nur wenig ändern. Das ist vor allem im Wasser erfüllt. Jedoch spätestens mit dem Wechsel einiger Lebewesen zum Land trat und tritt durch ihre Bewegung oft eine wechselnde Umgebung auf. Das Wetter bewirkt noch zusätzlich beachtliche Änderungen. Das verlangt eine fortlaufende Anpassung des Verhaltens. So entstand die fünfte, die neuronale Speicherung. Mit ihr lernt jedes Lebewesen durch Erfahrung sein optimales Verhalten. Würden diese Daten genetisch gespeichert, so wären sie für den Nachwuchs oft nicht mehr günstig. Daher brauchen sie nicht vererbt zu werden und können oder müssen sogar mit dem Tod verloren gehen. Für die notwendige individuelle Datenspeicherung entstanden die Neuronen<sup>4</sup> als spezialisierte Zellen in einer großen Formenvielfalt und teilweise auch als Weiterentwicklung der Sinneszellen. Sie funktionieren aber fast alle nach dem gleichen Prinzip, nämlich dem elektrischen Potential jeder biologischen Zelle zwischen ihrem Inneren und der Umwelt (**Bild 16a**). Für die Arbeitsweise jeder biologischen Zelle muss nämlich in ihrem Innern ein optimales Verhältnis einiger chemischer Komponenten eingehalten werden. Hierfür sind in der Membran aktive Ionen-Pumpen vor allen für  $K^+$ ,  $Na^+$  und  $Cl^-$  eingelagert. Sie verbrauchen etwa 70 % des Ruheumsatzes einer Zelle. In der Umgebung liegt jedoch ein anderes Milieu vor. So entsteht zwischen Innen und Außen der Zelle ein typischer Spannungsunterschied. Schematisch kann dafür die Membran durch drei Membran-Permeabilitäten  $P_K$ ,  $P_{Na}$  und  $P_{Cl}$ , entsprechenden Spannungsquellen und eine Membran-Kapazität beschrieben werden (b). Ein Blockieren der Ionen-Pumpen kann durch eine Transmitter-Substanz erfolgen. Sie ist in den synaptischen Vesikeln enthalten, die von einer anderen, der Masterzelle erzeugt und dann zu ihren Synapsen transportiert werden (e). Gelangt nun ein Peak (s. u.) von der Master-Zelle über sein Axon und einer der Kollateralen zur Synapse, so wird dort ein Vesikel zerstört und es schüttet seinen Transmitter in den synaptischen Spalt zur Erfolgzzelle. So wirkt sie auf deren Membran und blockiert Ionen-Pumpen (d). Dadurch ändern sich die Membran-Widerstände und damit die Spannung. Nach dem Verschwinden der Blockierung geht die Spannung mit geringem Überschwingen wieder auf das Ruhepotential zurück und es entsteht der Peak als Spannungsimpuls (c). Er ist grundlegend für die neuronale Speicherung. Jedoch zur Speicherung müssen mindestens zwei Zellen gegenseitig über Synapsen verkoppelt werden. Das ähnelt dem elektronischen Flipflop aus zwei Transistoren. Im menschlichen Gehirn hat jedoch fast jedes Neuron bis zu 50 000 Synapsen und Kollateralen. So entstehen aus den sehr vielen Neuronen hoch

<sup>4</sup> Neuron griechisch Sehne, Nerv. Es wurde 1891 vom Waldeyer eingeführt, wurde 1940 entdeckt, war jedoch bis um 1980 umstritten..

komplexe Schaltungen und Speicher, vor allem das menschliche Gedächtnis, das zumindest (s. u) aus drei unterschiedlichen Funktionsteilen besteht.



**Bild 16.** Strukturen eines typischen Neurons.

Neuronen können auch eine erheblich von (e) abweichende Gestalt haben. Dabei ist aber immer die Zelloberfläche durch die vielen und weit herausragenden Dendriten deutlich vergrößert. Vor allem dort docken die Synapsen von anderen Zellen an. Jede kann nur in ihrer unmittelbaren Umgebung die Ionen-Pumpen blockieren. Aber erst wenn die Summe aller Blockierungen eine Schwelle überschreitet verlässt der Peak den einzigen Axonhügel und gelangt über das bis zu Metern lange Axon und über die Kollaterale zu den verschiedenen Erfolgszellen. Ähnlich wird ein Muskel durch mehrere motorische Endplatten aktiv.

Im menschlichen Gehirn gibt es etwa  $2 \cdot 10^{10}$  z. T. morphologisch sehr unterschiedliche Neuronen, auf die je bis zu 50 000 Synapsen einwirken und dabei etwa 50 % der Neuronenoberfläche belegen. Die gesamte Länge der etwa  $10^{12}$  Nervenfasern im Gehirn des Menschen beträgt ca.  $5 \cdot 10^8$  m (500 000 km, Mondentfernung nur  $\approx 4 \cdot 10^8$  m). Außerhalb des Gehirns existiert noch einmal etwa dieselbe Länge. Umstritten ist, ob täglich ca.  $10^5$  Neuronen ( $\approx 1/s$ ) absterben. Trotzdem hätte dann ein Mensch gegen Lebensende noch immer ca. 90 % seiner Neuronen. Eine Zusammenschaltung von Tausenden Neuronen

wird Ganglion genannt. Die meisten Neuronen sind im Gehirn vorhanden, dann im Rückenmark und als Seitenstrang zum Rückenmark im vegetativen Nervensystem u. a. für die inneren Organe wie Herz, Nieren, Magen, Leber und Drüsen. Die Neuronen im Gehirn dienen dem Denken und der Speicherung, also dem Gedächtnis.

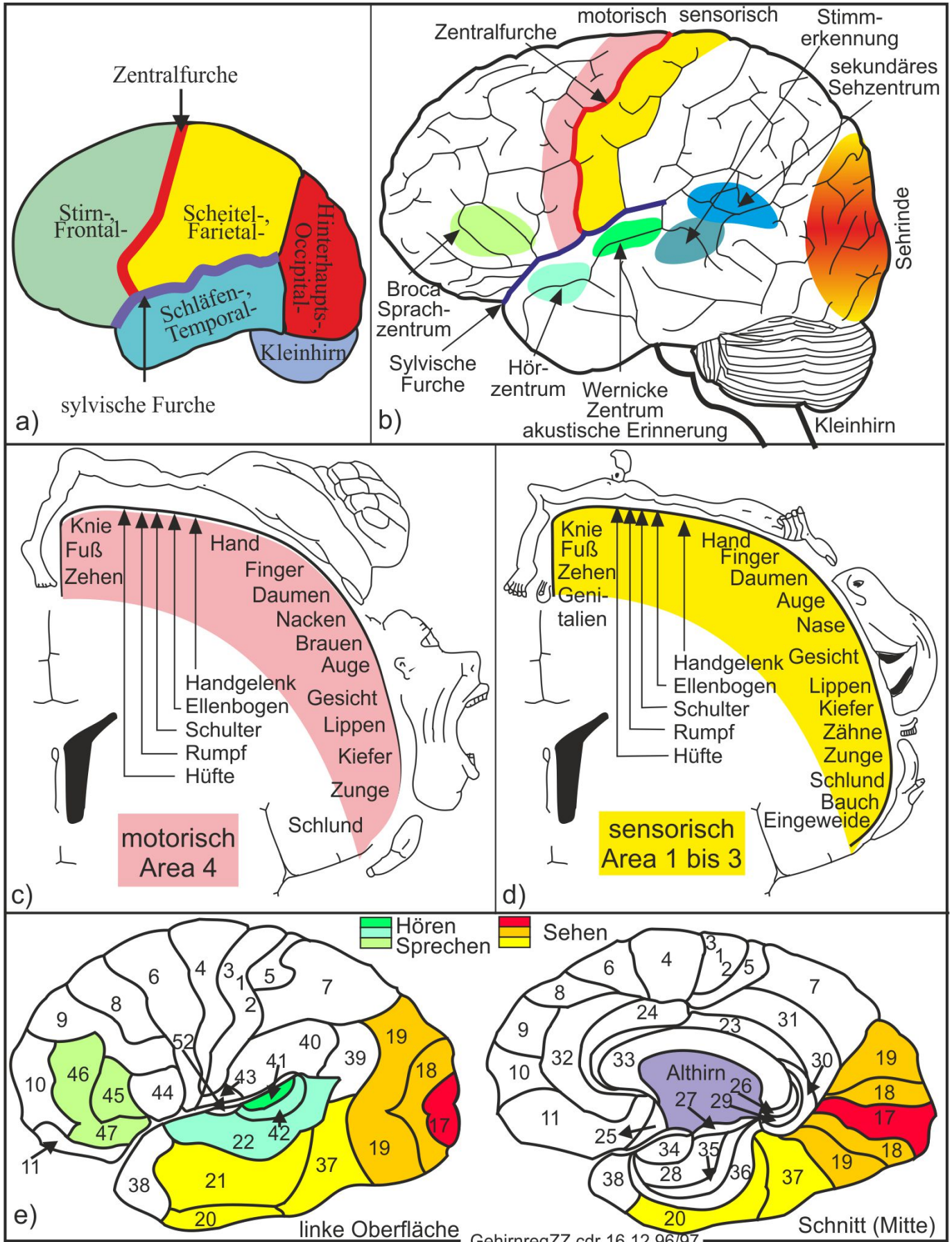
Eine grobe Einteilung des Gehirns in der Seitenansicht zeigt **Bild 17a**. Dabei gibt es nur Bereiche, die speziellen Aufgaben entsprechen (b). Das Kleinhirn ist für die Feinmotorik zuständig. Das Alt- bzw. Stammhirn hat vielfältige spezielle Aufgaben, wirkt aber nur mittelbar beim Speichern mit. Besonders präzise ist die Zuordnung der motorischen und sensorischen Leistungen zu beiden Seiten der Zentralfurche. Ein Hauptteil davon betrifft das Gesicht und die Hände (c) und (d). Heute ist es üblich, die Oberfläche und den Mittelschnitt des Gehirns (e) in nummerierte Area einzuteilen. Dabei lassen sich noch detaillierter die Bereiche für das Sehen und Hören plus Sprechen kennzeichnen. Für das Speichern sind jedoch keine bestimmten Orte bekannt geworden. Bei allen lokalen Schädigungen und Zerstörungen sind nie spezielle Inhalte verloren gegangen. Aber stets war der inhaltliche Verlust etwa proportional zum geschädigten Hirnvolumen. Daher wurde zeitweise (fälschlich) eine hologramm-analoge Speicherung angenommen (s. S 40ff.).

### 3.5.1. Gedächtnisse

Speicher und Speicherungen in und mit dem Gehirn werden vorwiegend als Gedächtnis bezeichnet (vgl. Speicherdefinition auf S. 1). Das Wort Gedächtnis stammt vom Althochdeutschen githehtnissi etwa Andacht; mittelhochdeutsch gedachtnisse als das Denken an etwas und später das Denken an früher Geschehenes und Erfahrenes als Erinnerung. Zuweilen wird der Begriff allerdings auch auf spezielle, zumindest teilweise vom Gehirn unabhängige Speicherungen benutzt. Zu einem Gedächtnis gehören hauptsächlich sechs Aspekte, für die es in anderen Sprachen teilweise eigenständige Wörter gibt:

1. **Fähigkeit** sich erinnern, sich etwas merken und lernen können, auch etwas ins Bewusstsein rufen, an Jemanden oder an etwas denken und „negativ“ vergessen können.
2. **Inhalt und Funktion** des Gespeicherten (s. Abschnitt 7.5.2).
3. **Dauer und Umfang** betreffen vor allem Daten, wie Speicherkapazität und -zeit. (s. Abschnitt 7.5.3).
4. **Ergebnisbezogen**: etwas gegenwärtig im Gedächtnis haben; auswendig zu wissen, zu kennen; sich an etwas erinnern, u. a. Wahrnehmungen, Gedanken, Erlebnisse, Erwartungen und Träume.
5. **Objektbezogen** betrifft es individuelle Andenken, Souvenirs, Mitbringsel als Hilfsmittel zum Gedächtnis-Erwerb und -Besitz. Erweitert, verallgemeinert Aufzeichnung, Protokoll, Archiv, Sammlung, Denkmal, Museum usw.
6. **Überindividuell** gibt es mehrere Arten, z. B. kulturelles, kollektives oder geschichtliches Gedächtnis, Kunst als Gedächtnis, Gedächtnis der Steine usw. Hierzu zählen auch: Jubiläen, Gedenktage, Riten, Mythen usw.





**Bild 17.** Zu den Einteilungen des menschlichen Gehirns. Speicher kommen dabei nicht vor. Sie müssen großflächig verteilt an vielen Stellen vorhanden sein. Sie betreffen aber nur die Hirnrinde des Großhirns und nicht das Alt- und Kleinhirn.

### 3.5.2. Gedächtnisinhalte

Im Gedächtnis speichern wir recht verschiedene Inhalte. Dabei treten oft verschiedene Speicherdaten, wie Stabilität und Zugriff auf. Sie betreffen auch psychologische, anatomische und neurologische Befunde (Amnesien) sowie die Bewusstheit der Inhalte und Prozesse. Deutlich sind so die zwei Gedächtnisse der folgenden Tabelle zu unterscheiden. Weitere detaillierte Unterscheidungen folgen aus **Bild 18**.

| deklarativ <sup>5</sup>   | nicht-deklarativ  |
|---|---|
| Explizit, relational, enzyklopädisches.   | Implizit.   |
| „Wissen was oder das“, Fakten, Datenbank, Lexikon, Denken, Kognition.                                 | „Wissen wie“, Regeln, Abläufe, Prozesse, Fertigkeiten, Behaviorismus, Verhalten.                            |
| Meist verbalisierbar, schnell, flexibel, verbunden mit bewusster Erinnerung, können blockiert werden. | Kaum verbalisierbar, langsam, unflexibel, meist unbewusst ausgeführt, wirken direkt, sind immer zugänglich, |
| Durch Hirnschäden meist stark beeinträchtigt.   | Durch Hirnschäden weniger beeinträchtigt.   |

Beim *deklarativen* Gedächtnis gilt:

Das *Semantische*<sup>6</sup> entspricht etwa dem „Wissen was“. Ähnlich einem Lexikon speichert es Wortbedeutungen, allgemeine Fakten über die Realität (Bilder, Töne, Gerüche), generelle Zusammenhänge und ist weitgehend für Schulwissen zuständig. Beim Vorlesen einer Geschichte wird kaum der Wortlaut, aber leicht deren Inhalt (die Semantik) erinnert. Hauptsächlich befindet es sich in den Schläfenlappen und dem Diencephalon.

Das *Episodische*<sup>7</sup> speichert den zeitlichen Ablauf von Ereignissen im Raum. Autobiographisch erfasst es vor allem individuelle Erlebnisse, wie Hochzeit, Urlaub oder Prüfung, die Persönlichkeit und Lebenslauf, teilweise auch markante Ereignisse des öffentlichen Lebens (Politik, Kultur, Wirtschaft, berühmte Personen usw.). Seine neurologische Basis sind der präfrontale Kortex, Teile des Scheitellappens, das limbische System und Cingulum sowie einige Areale der rechten Gehirnhälfte. Amnesien und Hirnverletzungen betreffen es deutlich stärker als das Semantische.

Beim *nicht-deklarativen* (impliziten) Gedächtnis gilt „Wissen wie“ statt „Wissen dass“. Seine Inhalte sind praktisch immer verfügbar, aber langsam und unflexibel, nur in den Zusammenhängen nutzbar, in denen sie erworben wurden. Sie sind fast nie der bewussten, verbalisierbaren Erinnerung zugänglich. Auch das Lernen erfolgt anders als beim deklarativen Gedächtnis. Möglicherweise ist dies die einzige Gedächtnisform bei Wirbellosen. Auch zu ihm gehören zwei Unterscheidungen:

Das *Prozedurale*<sup>8</sup> betrifft mechanische und motorische (automatisierte) Fertigkeiten, Handlungsabläufe und Gewohnheiten, wie Gehen, Rad- oder Autofahren. Vielfach nehmen selbst bei intensivem Üben solche Fertigkeiten nur sehr langsam zu. Es bestimmt erheblich das persönliche Verhalten (Persönlichkeit).

Das *Priming*<sup>9</sup> betrifft Regeln und deren Anwendung sowie Erwartungen, Hoffnungen usw. Dadurch wird ein leichteres Erinnern von ähnlich erlebten Situationen oder früher

<sup>5</sup> von lateinisch clarus laut, deutlich, hell, declarare kundgeben, öffentlich erklären

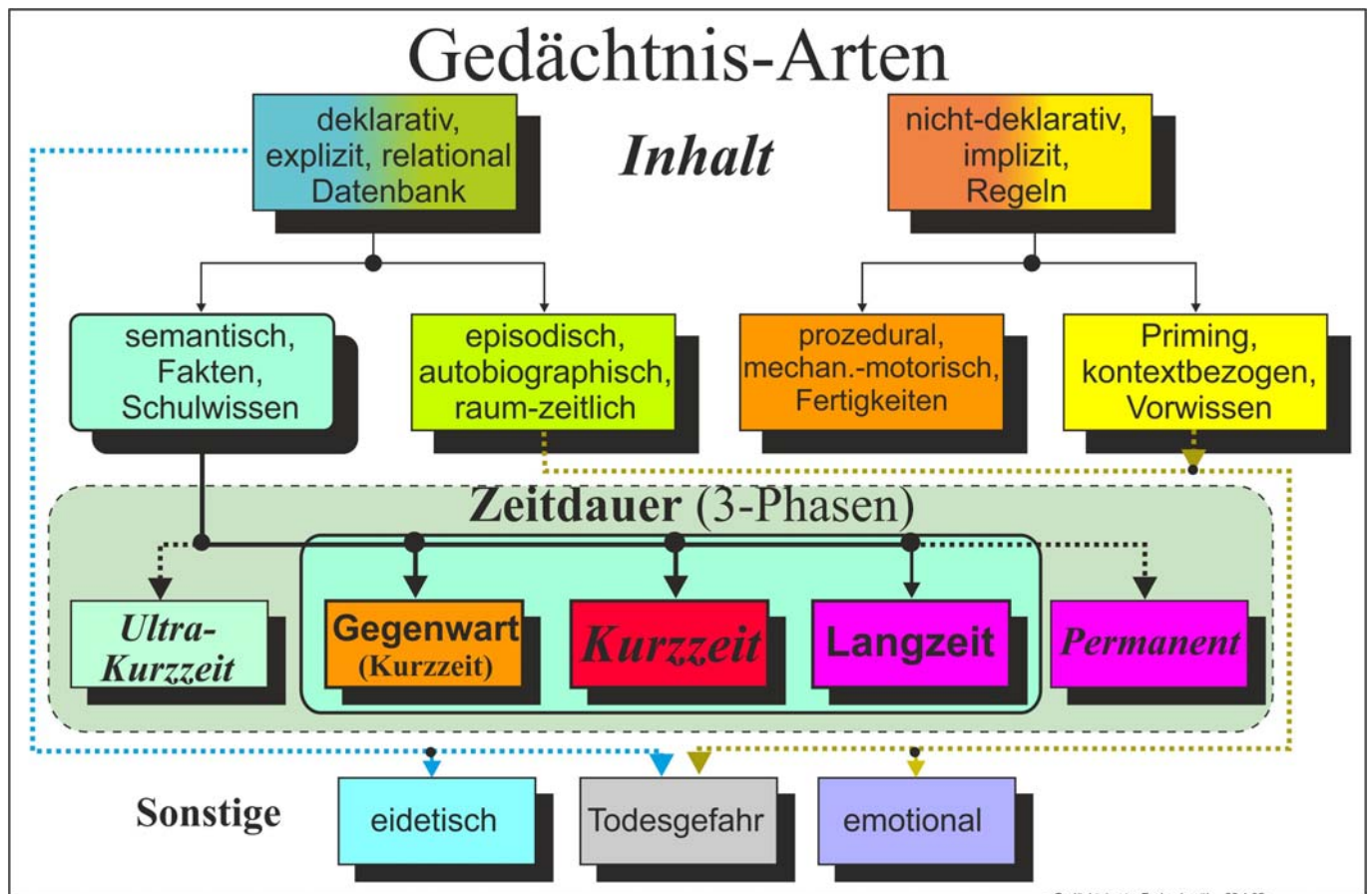
<sup>6</sup> griechisch semantikos bezeichnend

<sup>7</sup> griechisch episodion Zwischenspiel, Nebenhandlung, ursprünglich Chorgesang der antiken Tragödie)

<sup>8</sup> lateinisch procedere Vorgehen, Art und Weise zu handeln

<sup>9</sup> lateinisch primus vorderster, erster, vornehmster

wahrgenommenen Reizmustern möglich. Ein Kontext bewirkt immer eine Beschleunigung des Erfassens. Es wird nicht nur Einzelnes erinnert, sondern gleichzeitig Ähnliches „vorgewärmt“. Das Wort „Nagel“ wird in einer Wortliste schneller gefunden, wenn zuvor „Hammer“ genannt wurde; beim Anschauen von Noten sind deutlich schneller die zugehörige Melodie und der Text verfügbar.



**Bild 18.** Die wichtigsten Einteilungen der Gedächtnisarten.

### 3.5.3. Drei Zeit-Gedächtnisse

Auf Seite 5 wurde darauf eingegangen, dass die Gegenwart sehr kurz ist ( $\Delta t \rightarrow 0$ ) und auch von unseren Sinnen so wahrgenommen wird. Dagegen erfasst (integriert) das GG ganzheitlich eine Dauer von etwa 10 Sekunden und vermittelt den dabei erfassten Inhalt zusammengefasst unserem Bewusstsein. Das könnte ein zyklischer Umlaufspeicher mit paralleler Wiedergabe leisten. Seinen hypothetischen Aufbau aus Millionen von aktivierten Neuronen zeigt vereinfacht **Bild 19a**. Jede einzelne, aktuelle Wahrnehmung übernimmt dabei ein anderes Neuron (grün) und der Inhalt der 10 Sekunden läuft fortlaufend im Kreis herum und wird erst dadurch dynamisch gespeichert. Eine Änderung in der Realität erzwingt dann die Übernahme in ein anderes Neuron (rot). So erleben wir immer etwa die 10 Sekunden als Ganzheit und damit indirekt die Zeit [Völ19]. Mit dem Modell kann auch die zeitweilige Blockierung der Übernahme von ähnlichen Wörtern aus den anderen Gedächtnissen erklärt werden (b). Die Silbe „Lag“ von Lagrange auf den größer gezeichneten Neuronen sperrt das Wort Laguerre für das GG. Es steht erst dann wieder zur Verfügung, wenn Lagrange vergessen wurde.

Da das GG für unser Handeln und Bewusstsein wesentlich ist, wird es auch Arbeitsspeicher, Neu- oder primäres Gedächtnis genannt. Seine 10 Sekunden Speicherzeit



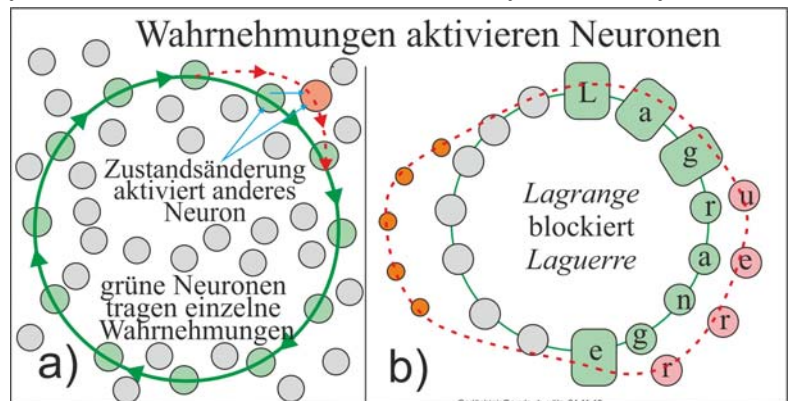
ermöglichen ein inhaltliches Verstehen nur für Sätze bis zu dieser Länge. Ein Mustersatz, der diese Begrenzung überschreitet lautet:

*Denken Sie, wie tragisch der Krieger, der die Botschaft, die den Sieg, den die Athener bei Marathon, obwohl sie in der Minderheit waren, nach Athen, das in großer Sorge, ob es die Perser nicht zerstören würden, schwebte, erfochten hatten, verkündete, brachte, starb.*

Auf solche Weise verstecken u. a. Politiker wichtige Aussagen. Nur gute Schriftsteller können durch geschickte Wahl mehrerer, getrennt erfassbarer Satzteile, längere Sätze konstruieren, z. B. der vierte Satz aus „Michael Kohlhaas“ von Kleist:

*„Er ritt einst, mit einer Koppel junger Pferde, wohlgenährt alle und glänzend, ins Ausland und überschlug eben, wie er den Gewinnst, den er auf den Märkten damit zu machen hoffte, anlegen wollte - teils nach Art guter Wirte auf neuen Gewinnst, teils aber auch auf den Genuß der Gegenwart -, als er an die Elbe kam und bei einer stattlichen Ritterburg, auf sächsischem Gebiete, einen Schlagbaum traf, den er sonst auf diesem Wege nicht gefunden hatte.“*

**Bild 19.** Hypothetischer Umlaufspeicher als Gegenwartsgedächtnis (a) und für die Blockierung von Begriffen (b).



Aus zusätzlichen Experimenten mit dem GG lassen sich auch seine Speicherkapazität auf  $\approx 150$  Bit und Übernahmegeschwindigkeit zu  $\approx 15$  Bit/s bestimmen. Da unsere Sinnesorgane viel mehr leisten, erfolgt die Auswahl durch Aufmerksamkeit. Wegen  $150 \approx 2^7$  Bit lassen sich 7 Begriffe und Inhalte (Superzeichen), also 7 Chunks (englisch Klotz, Stück) ableiten, die wir maximal gleichzeitig erfassen können. Die Leistung des GG ist nahezu unabhängig von Alter, Geschlecht, Rasse und Intelligenz.

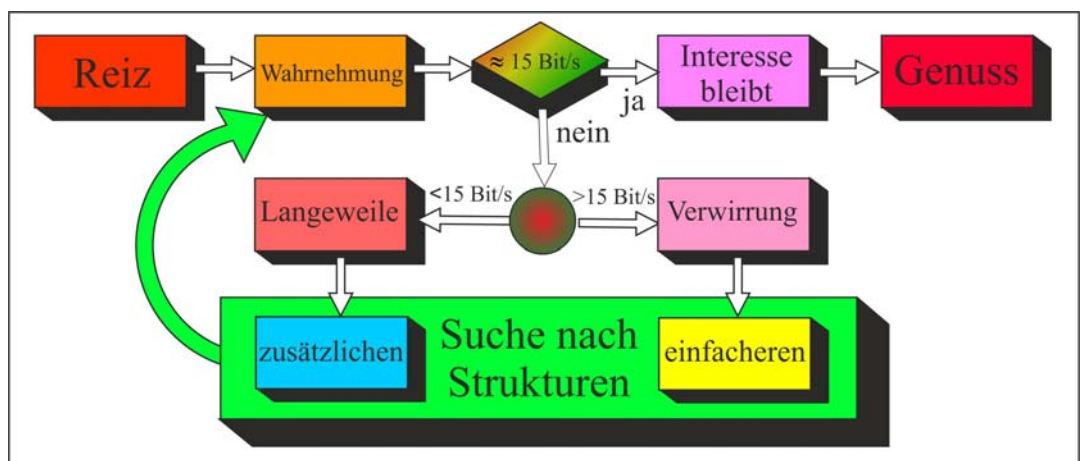
Für das GG genügt die kurzzeitige Aktivität der entsprechenden Neuronen. Beim **KG** wird dagegen zeitweilig im Zellkern der Neuronen die erzeugte Anzahl der Transmittervesikel für die Synapsen erhöht. Als Folge entsteht eine längere Aktivität. Diese Änderung benötigt aber Zeit, daher ergibt sich eine Datenrate von nur 0,5 Bit/s. So kann das KG nur etwa 1/30 der Inhalte des GG übernehmen. Daher müssen wir zu Lernendes etwa 30-mal wiederholen. Das berücksichtigt auch der Sonatensatz bzw. die Sinfonie. Sie wiederholen meist rund 30-mal das Thema in Variationen. Infolge seiner Kapazität von nur 1 500 Bit ist das KG bei der Datenrate nach etwa einer Stunde gefüllt. Das steht auch in Übereinstimmung mit dem Abklingen der Zellkernaktivität auf 36% nach etwa einer Stunde. Vieles spricht dafür, dass hier der ursprüngliche Grund für die Festlegung unserer Stunde liegt. In den frühen Klöstern war es nämlich üblich, nach einer „Stunde“ Arbeit eine Pause für Gebete usw. einzulegen. Ansonsten ist nämlich keine 24er Teilung in der Menschheitsgeschichte bekannt. Für die Funktion (Konsolidierung) des KG ist ein intakter Hippocampus (Thalamus) notwendig. Bei Demenz (Alzheimer-Krankheit) werden meist Mängel bei ihm festgestellt. Wahrscheinlich koordiniert er sogar alle Gedächtnis-Prozesse, außer denen des GG.

Schließlich werden die Inhalte zum **LZG** (auch Alt-, Dauer-, Permanent- oder tertiäres Gedächtnis genannt) übertragen. Es entsteht eine Gedächtnisspur, ein Engramm (von griechisch gráphein schreiben). Dabei werden die aktiven Synapsen vergrößert, teilweise

sogar neue gebildet. Die so entstehende Verschaltung bleibt lebenslang bestehen. Ihre Inhalte können aber zeitweilig durch besondere Blockierungseffekte unzugänglich sein. Daher erinnern sich besonders alte Menschen plötzlich an lange scheinbar Vergessenes. Seine Speicherkapazität wurde früher sehr groß angenommen. Die heute gültigen Werte von  $10^6 - 10^8$  Bit erscheinen sehr klein. Eine Abschätzung dafür erfolgt über das Begriffe-Raten. Selbst die ungewöhnlichsten Inhalte (z. B. Churchills Zigarre oder Chrustschows Schuh) können immer mit 20 gut gewählten Ja/Nein-Fragen bestimmt werden. Das ergibt  $2^{20} \approx 10^6$  Bit. Eine andere Abschätzung folgt aus der Zuflussrate um 0,05 Bit/s  $\approx 3$  Bit je Minute. Für einen 60-Jährigen ergeben sich dann – selbst bei Tag- und Nacht-Speicherung – nur  $10^7$  Bit. Doch auch diese Werte betreffen – wie beim GG und KZG – nur verbale Inhalte. Für die vielen anderen Speicherungen – Bilder, Handlungen usw. – ist immer eine beachtliche zusätzliche Kapazität erforderlich.

Für die drei Gedächtnisse sinkt die Datenrate von 15 über 0,5 auf 0,05 Bit/s und die Datenkapazität steigt von 150 über 1500 bis etwa  $10^8$  Bit. Diese Hierarchie wurde wahrscheinlich in der Evolution optimiert. Auffällig ist weiter, dass unser GG immer eine Datenrate von 15 Bit/s wünscht. Bei einem geringeren Angebot tritt Langeweile auf und bei höheren Werten gibt es Probleme beim Verstehen (**Bild 20**). Das lies sich gut bei Musik belegen [Völ75] und führt zu den drei Phasen der folgenden Tabelle:

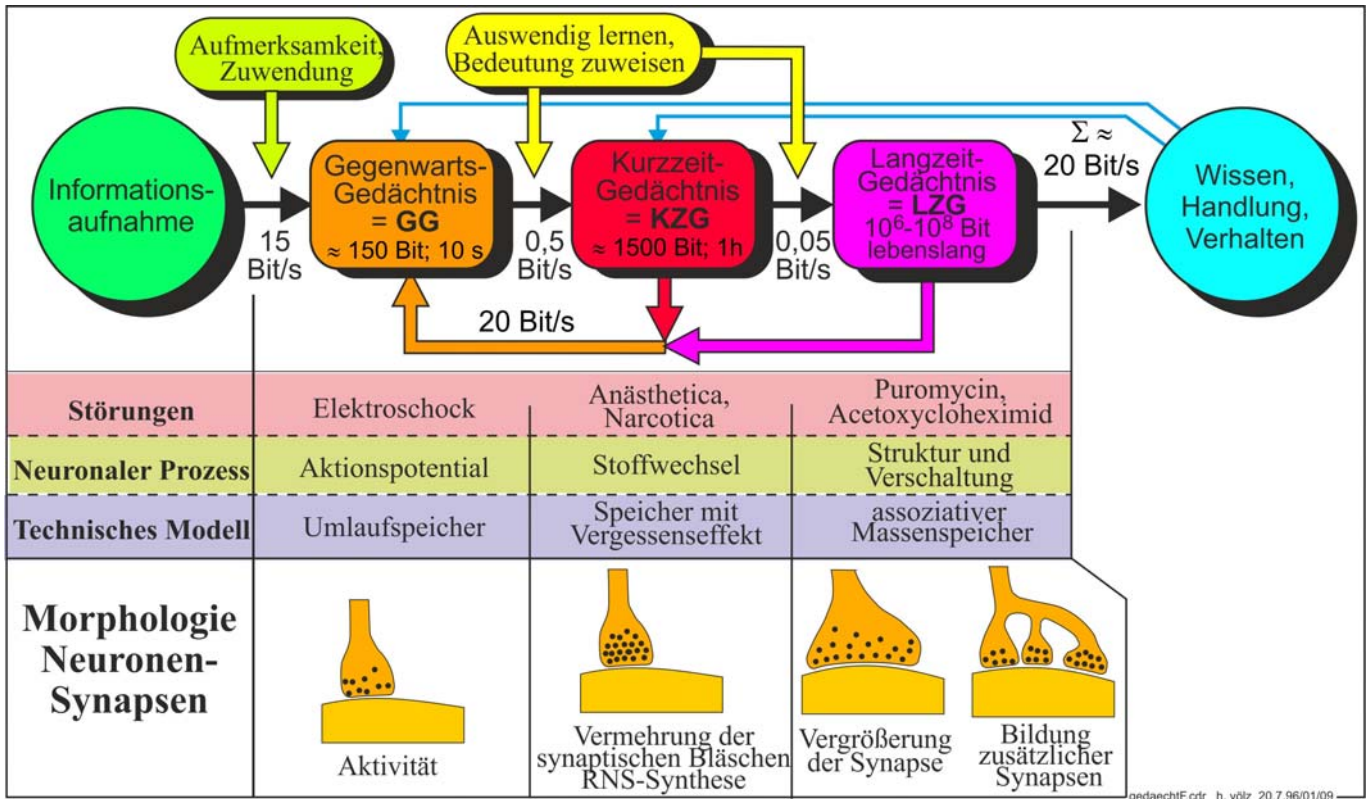
| Phase                 | Wirkung  | Beispiele   |
|-----------------------|--|---|
| <b>Verwirrung</b>     | Informationsflut ist zu groß.<br>Es ist kaum eine Rezeption möglich.   | Erleben von Unerwartetem.<br>Musik aus unbekanntem Kulturkreis.   |
| <b>Wiedererkennen</b> | Einige Strukturen sind erkannt und werden wieder erkannt, Aha-Moment.<br>Das bereitet Genuss und entspricht dem Lernen.                          | Klassen, Begriffsinhalte werden gebildet. Klassikgewohnter Hörer rezipiert unbekanntes Werk der Klassik.              |
| <b>Analytisch</b>     | Strukturen und Verknüpfungen sind erkannt und gespeichert. Ähnliches ist gut rezipierbar. Vergleich von aktueller und gespeicherter Information. | Begriffe können durch Eigenschaften beschrieben werden. Rezeption eines Musikkenners, analytisches Hören nach Adorno. |



**Bild 20.** Zur Optimierung der Datenrate für das GG.

Seit den 1970er Jahren ist das 3-Stufenmodell auch neuroanatomisch belegt [Dri72]. Im **Bild 21** sind dazu auch die Synapsen-Strukturen sowie mögliche Störungen und Blockierungen bei den drei Gedächtnissen ergänzt. Elektroschock löscht das Aktuelle im GG. Anästhetica, Narcotica und Ohnmacht blockieren den Übergang ins KG. Das geschieht mittelbar durch unterbinden der Transmitterbildung. Daher fehlen nachher die Fakten der

etwa letzten 20 Minuten. So erinnern wir uns nach der Vollnarkose einer Operation bestenfalls noch an den Transport in den OP-Saal. Die so fehlende Zeit verkürzt sich in der Folgezeit nur ein wenig. Das LG verliert Inhalte vor allem durch Zerstörungen der biologischen Substanzen. Ein typischer, aber technischer assoziativer Speichers ist auf S. 30ff. behandelt.



**Bild 21.** Die Struktur und Verkopplung der drei Zeitgedächtnisse, ihre Änderungen bei den Synapsen und die möglichen Störungen.

### 3.5.5. Typische Gedächtnisarten

Erst in den letzten Jahrzehnten konnten einige Ergebnisse zur Wahrnehmung und Speicherung von Bildern gewonnen werden. Dabei wurde der Begriff ikonisches bzw. photographisches Gedächtnis eingeführt. Das gerade gesehene Bild bleibt nach dem Schließen des Augenlids als Ikon noch kurz erhalten. Verkehrsschilder werden z. B. sofort gesehen und befolgt, aber gleich wieder vergessen. Auffällig ist, dass diese Inhalte nicht über das GG laufen und uns daher auch nicht bewusst werden. Da hierbei eine Speicherzeit von etwa 50 bis 200 ms auftritt, entstand der Begriff **Ultrakurzzeit**-Gedächtnis. Auch Averbales, Wörter mit mehr als 10 Buchstaben und fast alle Sinnesorgane werden hier erfasst, jedoch teilweise mit einer längeren Speicherzeit. Dabei überschreibt das neu Wahrgenommene das Alte. Auch der Begriff sensorisches Gedächtnis wird hierfür benutzt.

Relativ selten wird neben dem LG noch ein besonderes **Permanent**-Gedächtnis angenommen.

Von einem **eidetischen** (griechisch eidos Urbild, Gestalt, Aussehen, Wesen, Begriff, Idee) bzw. photographischen Gedächtnis wird dann gesprochen, wenn jemand nur kurz Wahrgenommenes (vor allem Bilder) auch lange danach wieder exakt abrufen kann. Typisch tritt es bei Autisten (griechisch autós selbst) als eine schwere Verhaltens- und Kommunikationsstörung mit hoher Selbstbezogenheit auf. Zuweilen kommt es bei Kindern vor, verliert sich dann aber in wenigen Jahren. Unter besonderen Bedingungen (Drogen) kann

es für einige Zeit auftreten. Es gibt auch wenige Menschen (Eidetiker), die diese Fähigkeit dauerhaft besitzen. Wahrscheinlich traf das für Mozart zu. Im Jugendalter hörte er eine Messe zum ersten Mal und konnte sie danach Zuhause vollständig notengetreu aufschreiben. Auch der Dirigent und Geiger Lorin Maazel besaß sie. Beim Dirigieren konnte er vor seinem „inneren“ Auge immer vollständig die drei aktuellen Seiten der Partitur sehen. Daher dirigierte er mit geschlossenen Augen. Weitere Beispiele enthält z. B. [Völ03], S. 314ff.

Zuweilen wird auch ein *emotionales* Gedächtnis genannt. Da wir Emotionen nur sehr mittelbar reproduzieren können, ist es unsicher, ob es dieses Gedächtnis überhaupt existiert.

Bezüglich des *Todesspeichers* schreibt [Kas00] über Menschen, die dem Tod im letzten Augenblick entrissen wurden:

*Einhellig berichten sie von gleißendem Licht. Meist haben sie vorher das Gefühl, ihren Körper zu verlassen und sich selbst aus großer Höhe zu sehen. Dann ziehen rasend schnell vergessene geglaubte Szenen aus dem Leben vorbei. Manche dieser Menschen sehen schließlich noch Landschaften oder filigrane Muster.*

*In seinem Buch „Leben nach dem Tod“ beschrieb der amerikanische Arzt Raymond A. Moody erstmals diesen typischen – allerdings noch umstrittenen – Ablauf. Er führt dazu zahlreiche Beispiele an. „Es war alles pechschwarz, nur ganz weit in der Ferne konnte ich dieses Licht sehen, dieses unglaublich helle Licht“, heißt es da beispielsweise. Oder: „(Das Licht) war wunderschön und so hell, so strahlend, aber es tat den Augen nicht weh. So ein Licht kann man hier auf der Erde überhaupt nicht beschreiben.“ Solche Schilderungen erinnern frappant an Erlebnisse unter halluzinogenen Drogen. ... Das Auftauchen vergessener geglaubter Episoden aus der Lebensgeschichte dürfte durch totale Aufhebung der Gedächtnisfilter bedingt sein. Offenbar werden zudem Endorphine, körpereigene Opiate, in großen Mengen frei, was den friedlichen Gesichtsausdruck vieler Toter erklärte.*

*Bei all diesen Zuständen dürfte das Hirnareal, das für das optische Selbstbild zuständig ist, eine Überfunktion aufweisen. Dasselbe könnte im Sterben geschehen. Ein ketamin-ähnlicher Botenstoff lässt dabei offenbar die Person sich selbst aus der Ferne sehen – als unbeteiligter Zuschauer des eigenen Todes.*

Schließlich sei noch auf Sheldrake verwiesen [She88]. Er führt morphogenetische (morphische) Felder ein und vermutet dabei, dass die Natur generell eine statistische, also durch Häufigkeiten bedingte *Erfahrungsspeicherung in morphischen Feldern* vornimmt. Viele Geschehen treten zunächst extrem selten auf. Jedoch durch jedes erneute Auftreten geschehen sie immer leichter und damit häufiger. Trotz großem Aufwand ist es ihm aber nicht gelungen, das Substrat dieser Felder zu bestimmen. Zudem nimmt er dafür eine unendlich hohe Ausbreitungsgeschwindigkeit an. Auf S. 394 sagt er dann:

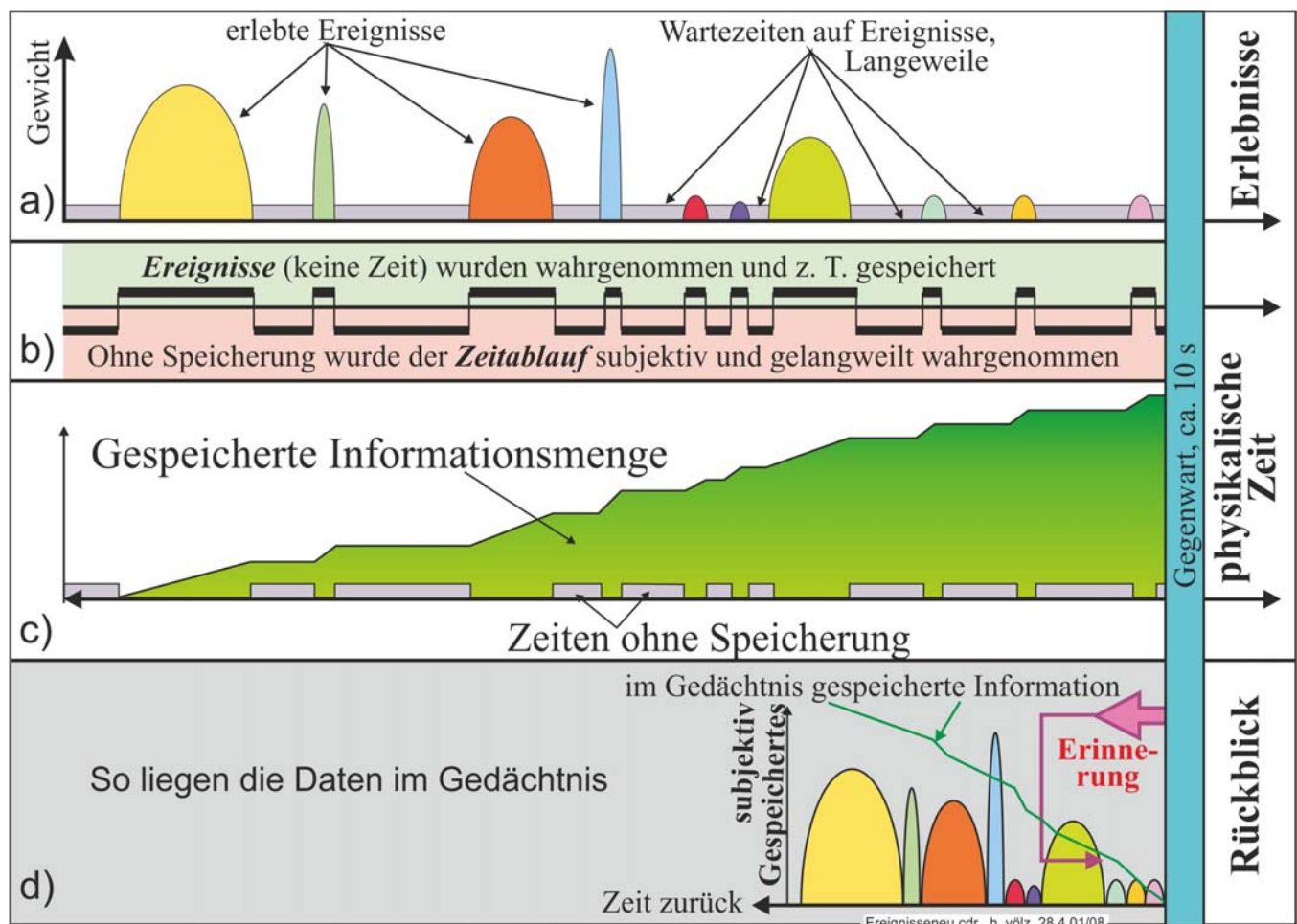
*„Es ist nach wie vor nicht auszuschließen, dass wir in einer gedächtnislosen Welt leben, die von ewigen Gesetzen regiert wird. Es könnte aber auch sein, dass der Natur ein Gedächtnis innewohnt ...“.*

### 3.5.6. Gedächtnis und Zeit

Erst durch das GG erleben wir (gibt es) die Zeit, die subjektive Zeit. Daneben werden eine physikalisch-absolute und systeminterne Zeit benutzt. Im Rückblick erscheint uns dann gespeichertes Geschehen erheblich verändert. Je nach ihrer Bedeutung (dem Gewicht) und den Wiederholungen wurden die Ereignisse unterschiedlich umfangreich gespeichert. Bei Langeweile wird extrem wenig bis nichts aufgezeichnet. So ergibt sich das **Bild 22**. Auffällig ist dabei, dass bei der Rückschau die Zeitrichtung wieder genau wie damals abläuft.



Sie könnte also ebenfalls auf das GG beruhen. Denn im Gegensatz hierzu bleiben alle Naturgesetze bei Zeitumkehr  $t \leftrightarrow -t$  voll gültig. Weitere Details hierzu enthält [Völ19].



**Bild 22.** Speicherung und Wiedergabe von vergangenen Ereignissen.

### 3.5.7. Vergessen und Fälschungen

Meist ist Vergessen – wie bei Demenz – unerwünscht. Wie kann man es aber vermeiden? Lernen alte Menschen schlechter und vergessen sie mehr als junge? Vielfach hat sich die Mnemotechnik bewährt. Dabei werden den Objekten der Erinnerung gedanklich Orte zugeteilt, die zuweilen auch „Kammern der Erinnerung“ genannt werden. Manchmal kann der Zusammenhang sogar objektiv vorliegen. Zur Erinnerung an die Objekte wird dann nur der Weg zu und zwischen den Orten gedanklich durchwandert. Die Grundregel lautet:

*Lagere deine Argumente (oder was du dir merken willst) gedanklich der Reihe nach an Orten längs eines dir gut bekannten Weges. Bei deiner Rede brauchst du dann (für das Erinnern) nur gedanklich diesen Weg zu gehen und findest der Reihe nach deine Argumente.*

Eine andere Hilfe sind die so genannten „Eselsbrücken“ wie der Knoten im Taschentuch oder für die Stimmung der Violinesaiten: „geh **du** **alter** **esel**“.

Generell beeinflussen Emotionen unser Gedächtnis. So fällt unter Stress manchmal jedes Erinnern schwer, aber in fröhlicher Stimmung kommen positive Erinnerungen leichter ins Bewusstsein. Andererseits wurden die Leistungen des Gedächtnisses ja über das Vergessen bestimmt (s. S. 20). Es gibt auch unerwünschte Erlebnisse, die schwere psychische Folgen haben und die man daher vergessen will oder sollte, aber oft nicht kann. In einigen Fällen führt das zu Verdrängungen. Mit solchen Fakten hat sich Freud gründlich und erfolgreich auseinandergesetzt. Zuweilen geschehen auch ethisch-moralisch verwerfliche Handlungen, die aber im Gedächtnis bleiben sollten, „aufgearbeitet“ und wieder gut

gemacht werden müssen. Dazu gehört eine Vergessenskultur. Doch allzu oft besitzen Menschen ein „*Un-Gedächtnis*“, mit dem unerfreuliche Erinnerungen (absichtlich) verborgen werden.

Absichtliches Vergessen oder (falsche) Erinnerungen können auch durch andere bewirkt oder erzwungen werden. Dazu gehören Überredung, Bestechung, Erpressung, Gehirnwäsche (engl. brain washing) bis zur Folter, z. B. durch ständige Wiederholung der gleichen Fragen und Anschuldigungen, pausenloses Verhör, grelles Licht, Terrorisierung durch Mitgefangene, Isolierung, Schlaf-, Nahrungsentzug, scheinbares Ertränken, illegale Drogen bis zu Morddrohungen.

Geschichtlich ist in diesem Kontext Homers Odyssee mit dem Abstieg Odysseus in die Unterwelt interessant. Die Toten, denen er im Hades begegnet, sind stumm; sie haben Sprache und Erinnerung verloren.

Noch häufiger als Vergessen treten vielfältige Erinnerungs-Täuschungen auf. Bei großen Angst- oder Ermüdungszuständen kann das *Déjà-vu-Erlebnis* (französisch schon gesehen) auftreten. Der Betroffene glaubt für Sekunden bis zu Minuten fest daran, die aktuelle Situation ganz oder teilweise schon einmal genauso erlebt zu haben. Generell werden (kleine) Details viel leichter vergessen oder verwechselt, als verallgemeinerbare Erfahrungen. Rationalisieren zu müssen, ist eine häufige Ursache für Selbsttäuschungen. Hierzu schrieb z. B. Max Frisch: „Jeder von uns wird sich eines Tages die Biographie erfinden, die er für sein Leben hält. Daher korrigieren, interpretieren, zensieren und erfinden wir ständig Erinnerungen.“

Doch es gibt auch absichtliche Fälschungen durch andere, mit Klatsch, Mobbing Lügen usw. Dass wir es mit der Wahrheit nicht immer ganz Ernst nehmen können oder gar müssen, weist u. a. deutlich [Nyb94] auf S. 9 aus:

*Wir nutzen die Täuschung und die Selbsttäuschung als Mittel, um mit Ängsten fertig zu werden. Wir haben gelernt dieses Mittel zu vielen Zwecken einzusetzen: um das Gefühl zu erhalten, dass wir die Unwägbarkeiten unseres Lebens und der Zukunft besser in den Griff zu bekommen, um unser Wohlbefinden zu vergrößern, um unsere Privatsphäre zu schützen oder gar zu gewinnen, um anderen anonym helfen zu können usw.*

Wie stark falsche (gefälschte) Erinnerungen sein können, zeigte Fischer am Beispiel des Streits von zwei Psychologieprofessoren um das Datum des Todes eines Kollegen. Obwohl das Datum leicht nachprüfbar ist, nahm der Streit kein Ende: [Fis98]. ab S. 275. Nur in der Technik – und teilweise auch bei der genetischen Speicherung – gibt es leistungsfähige Methoden zur Stabilisierung der Speicherzustände und für die Fehlerkorrektur.

### ***3.6. Gesellschaftliche Speicher***

Die egotrope und genetische Speicherung bewirken, dass Zellen und Lebewesen vollständig definiert bzgl. ihrer Struktur und ihrem Verhalten entstehen. Mittels des neuronalen, individuellen Gedächtnisses optimieren die Lebewesen wesentliche Teile ihres Verhaltens. Bei deren Weiterentwicklung entstehen dann auch die Möglichkeiten zur Kommunikation. So können u. a. mehrere Individuen vorteilhaft gemeinsam handeln. Dadurch bilden sich Anhäufungen, Gruppen usw. heraus, die durch ähnliches bis gleichartiges Verhalten gekennzeichnet sind. Das beginnt bei den Tieren und reicht von der Symbiose über Nist- und Schlafgemeinschaften, Herden sowie Rudel bis zu den Insektenstaaten der Ameisen, Termiten, Bienen und Wespen. Beim Menschen bestimmen dagegen vor allem Religion, Politik (Staaten, Nationen usw.), kulturelle oder ethnische Gemeinsamkeiten von Minderheiten

bis zu Kulturkreisen die Zusammenfassungen. Für alle diese Gesamtheiten wurden als Oberbegriffe vereintes und kollektives Gedächtnis eingeführt. Für sie existiert aber kein räumlich gut abgrenzbarer (stofflicher) Speicherzustand (vgl. Definition S. 2). Deshalb ist die Bezeichnung Gedächtnis nur sehr bedingt gerechtfertigt. Auch eine Analogie zum neuronalen Gedächtnis ist kaum brauchbar. Da aber immer mehrere Lebewesen mittels ihrer Gedächtnisse wechselseitig zusammenwirken, sollte eigentlich der Plural verwendet werden. Genau deshalb wurde hier der Begriff „gesellschaftliche Speicher“ eingeführt (vgl. Tabelle 1; S. 8). Eine andere mögliche Bezeichnung wäre verteilte Speicher gewesen. Da sich aber weit verbreitete Begriffe nur äußerst schwer und langsam verändern lassen, ist es sinnvoll, die üblichen Begriffe auch hier weiter zu benutzen. Dann ergibt sich die Einteilung von **Bild 23** mit den sechs Varianten und zwar (a) in geschichtlicher Zuordnung und (b) in ihren Zusammenhängen:

Das *individuelle Gedächtnis* existiert nur während der Lebenszeit des Einzelnen. Es beginnt aber erst mit etwa dem fünften Lebensjahr. Von früher werden keine Speicherungen angelegt. Das dennoch Kinder von früheren Erlebnissen berichten, beruht auf Erzählungen von Verwandten und Bekannten. Teilweise haben die Kinder sie dann noch mit viel Phantasie ergänzt.

Das *kommunikative Gedächtnis* ergibt sich aus Erzählungen und Berichten der Mitmenschen. Dadurch ist es deutlich umfangreicher und enthält auch älteres Geschehen als das individuelle. Es reicht aber nur soweit zurück, wie noch lebende Augen- und Zeitzeugen authentisch berichten können. Für Gesellschaften oder Zeiten ohne schriftliche Aufzeichnungen beginnt davor der „floating gap“ [Ass97]. Die Inhalte des kommunikativen Gedächtnisses gehen mit dem Tod der Zeitzeugen schnell verloren. Genau deshalb schaffen sich die Menschen häufig unterschiedliche Denkmale, häufen Vermögen und Besitz an, vollbringen große Leistungen und lassen sich Denkmale errichten.

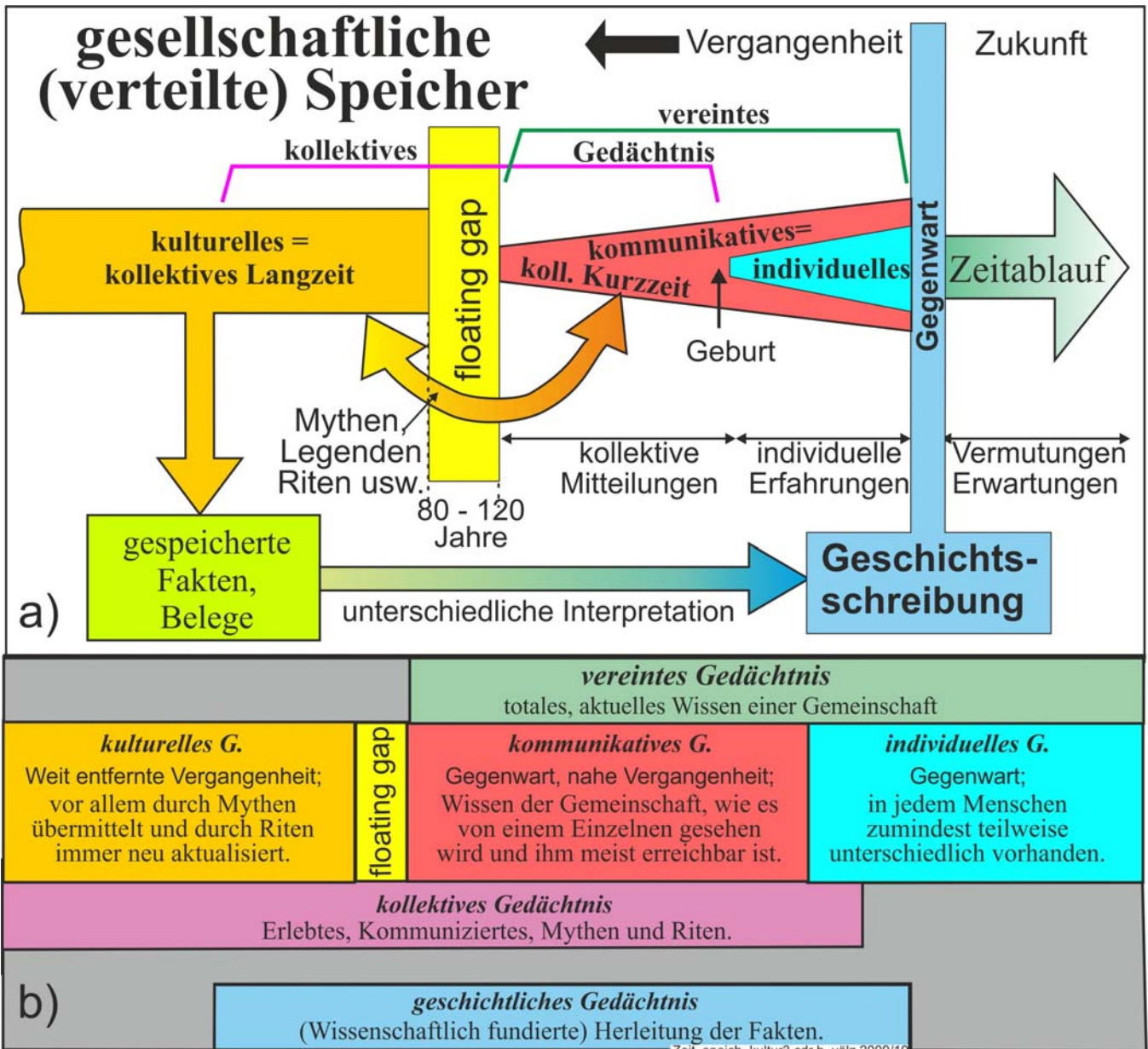
Das *vereinte* Gedächtnis fasst da individuelle und kommunikative zusammen.

Das *kulturelle Gedächtnis* enthält Aussagen über lange Vergangenes, darunter auch Mythen und Legenden, die nicht belegbar sind oder die es vielleicht gar nicht gab. Teilweise sollen sie die Welterschöpfung erklären oder Religionen, Minderheiten usw. begründen. Hierzu gehören auch Riten und Kulte, die regelmäßig erfolgen, um so fester im individuellen Gedächtnis zu haften. Die folgende Tabelle zeigt die Einteilung nach [Ass97].

|              | <b>kommunikatives Gedächtnis</b>   | <b>kulturelles Gedächtnis</b> <sup>10</sup>                                    |
|--------------|--|--|
| Inhalt       | Erfahrungen im Rahmen individueller Biographien                            | mythische Urgeschichte, „wichtige“ Ereignisse in einer absoluten Vergangenheit |
| Formen       | informell, wenig geformt, naturwüchsig, entsteht durch Interaktion, Alltag | hoher Grad an Geformtheit, zeremonielle Kommunikation, Fest                    |
| Medien       | lebendige Erinnerung im GG, Erfahrungen und Hörensagen                     | traditionell symbolische Kodierung, Inszenierung in Wort, Bild, Tanz usw.      |
| Zeitstruktur | 80 - 100 Jahre, mitwandernder Zeithorizont von 3 - 4 Generationen          | absolute Vergangenheit einer mythischen Urzeit                                 |
| Träger       | Zeitzeugen einer Gemeinschaft  | spezialisierte Traditionsträger  |

<sup>10</sup> Kultur von lateinisch *colera* (Partizip *cultus*), Anbau und Pflege von Pflanzen, Pflege von Kunst und Unterricht. Heute umfasst Kultur alle gesellschaftlichen, künstlerischen und humanitären Errungenschaften, vor allem die besonderen Sitten und Bräuche, dann Bildung, Erziehung, Wissenschaft, Technik, Religion, Sprache, Schrift, Kunst, Kleidung, Siedlungs-, Bauwesen sowie das politische, wirtschaftliche und Rechtssystem. Verwandt damit ist *Zivilisation* von lateinisch *civilis*, den Staatsbürger betreffend; bürgerlich.





**Bild 23.** Die Varianten der Gesellschaftlichen Speicher.

Das **kollektive** Gedächtnis ist die Zusammenfassung vom kommunikativen und kulturellen Gedächtnis. Insbesondere hierfür prägte Dawkins 1976 den Begriff des Mem (von *englisch* memory). bzw. des egoistischen Gens in Analogie zum Gen [Daw94]. Dazu gehört alles, was Jemand durch Nachahmung, Imitation, Lernen usw. von Anderen übernehmen und verwenden kann, aber nicht muss. Das sind u. a. Geschichten, Lieder, Kunstwerke, Gewohnheiten, Sitten, Bräuche, Umgangsformen, Fertigkeiten, Erfindungen, Technologien, Moden, Verhaltensweisen, Vorstellungen und neue Ideen. Viele Meme lassen sich auch technisch speichern, z. B. als Text, Formel, Bild, Ton oder Film. Mehrere Meme können sich auch zu einem Memsystem verbinden, z. B. innerhalb einer Religion, eines Kulturkreises, eines Vereins usw. Für die Ausbreitung der Meme ist neben der Nachahmung die Kommunikation und somit die menschliche Sprache sehr wichtig. Meme sind somit vor allem ausgewählte, ganzheitliche Gedächtnisinhalte, die parallel und meist zeitgleich in mehreren individuellen Gedächtnissen gespeichert und verfügbar sind und dann auch benutzt werden. Es ist aber nicht gesichert, dass Meme real existieren. Jedoch lassen sich bereits Vorstufen bei Tieren oder Pflanzen erkennen. Im gewissen Umfang kann so die

Mimikry<sup>11</sup> interpretiert werden. Viele Vögel ahmen den Gesang nach, einige sogar die menschliche Sprache. Deutlich ausgeprägt kommt bei vielen Säugern das „Täuschen“ vor. Meme setzen damit nicht unbedingt das individuelle Gedächtnis voraus. Ein gewisser Beleg für die Meme sind die einzelnen Spiegelneuronen. Sie feuern nicht nur dann, wenn Tiere und Menschen eine bestimmte Handlung ausüben, sondern auch dann, wenn sie diese Handlung bei anderen beobachten. Einen Vergleich mit den Genen zeigt die folgende Tabelle.

| Eigenschaft        | Gene   | Meme   |
|--------------------|--|--|
| Substrat, Träger   | DNS, Doppelhelix   | kollektives Gedächtnis (individuell)   |
| Vervielfachung     | Zellapparat  | Nachahmung (technische Speicherung)  |
| Wirkung            | Arterhaltung, Lebensprozesse                                   | Zusammenhalt der Gesellschaft, Kultur  |
| Stabilität, Schutz | Zellkern-Membran, Immunität                                    | Riten, Mythen, Strafen, Altruismus, Intelligenz  |
| Mutation           | Zufall, z. B. durch harte Strahlung, Fehlerrate etwa $10^{-4}$ | Absichtliche, selten zufällige Variation, Mangel der Nachahmung. Die „Fehlerrate“ ist recht groß |
| Schädliches        | Viren, Krankheiten   | Krieg, Missbrauch, Verschwendung, Egoismus   |
| Geschwindigkeit    | Neues erst nach vielen Generationen                            | Kurzfristige Mode bis lange Tradition  |
| Selektion          | Überlebens-Chance, Fitness, Nische                             | Akzeptanz, Gefallen, Lustgewinn  |
| Evolution          | Darwinistisch (Bewährtes)                                      | Lamarckisch (Erworbenes)   |

### 3.6.1. Gedächtnis der Geschichte

Das *Gedächtnis der Geschichte* betrifft die Geschichtsschreibung. Den Begriff Geschichte gibt es im Deutschen aber zweifach: Man kann eine (lustige) Geschichte erzählen oder die Geschichte als Wissenschaft betreiben. Im Englischen ist die Unterscheidung eindeutig: *story* und *history*. Die Inhalte der wissenschaftlichen Geschichtsschreibung sollen das damalige Geschehen exakt erfassen. Daher stimmt es mit den anderen, vorwiegend betont subjektiven Gedächtnissen nur noch darin überein, dass es ebenfalls die Vergangenheit betrifft. Die Schwierigkeiten dabei drückt Jacques Le Goff (1924 – 1996) deutlich in den folgenden drei Zitaten aus [Gof99], S.142, 145,160:

*Geschichte will objektiv sein und kann es nicht. Sie will wieder zum Leben erwecken und kann nur rekonstruieren. Sie will Dinge gegenwärtig machen, doch muss zugleich ihre Distanz und die Größe der historischen Entfernung wieder herstellen.*

*Die Vergangenheit ist ein Konstrukt und wird fortwährend neu interpretiert, dabei bildet die Zukunft einen integralen und Bedeutung stiftenden Bestandteil von Geschichte.*

*Geschichte ähnelt einem Roman. Sie besteht aus Intrigen.*

Ob Geschichte überhaupt eine Wissenschaft sei, ist daher immer wieder umstritten. Schon **Herodot** (484 – 425 v. Chr.), der als Vater der Geschichte gilt, meinte, dass Geschichte

<sup>11</sup> Mimikry (*griechisch* mimus Schauspieler, Darsteller) ist die Nachahmung von Körperbau- und Verhaltensmerkmalen einer Spezies durch eine andere. Sie wurde 1862 von Henry Walter Bates (1825 – 1892) im brasilianischen Urwald an zwei Familien ähnlich gezeichneter, aber nicht verwandter Schmetterlinge gefunden. Nur einer war für Vögel giftig. Mimikry kommt auch bei Pflanzen vor.

sich zwar auf eine Wirklichkeit bezieht, doch diese wird weder konstruiert noch beobachtet, wie es z. B. in den Naturwissenschaften oder den Wissenschaften vom Leben geschieht. Die Bedeutung der Vergangenheit für die Gegenwart ist folglich immer wieder neu zu studieren und in Frage zu stellen. Dazu verlangt die Geschichtsschreibung aber immer damals gespeicherte Dokumente. Doch die wurden immer nur von den Herrschern erstellt. Daher fehlt weitgehend das Geschehen der anderen. Seit geraumer Zeit werden deshalb auch mündliche Aussagen vorsichtig berücksichtigt (engl. oral history). Die Probleme zeigt deutlich der Vergleich mit dem kulturellen Gedächtnis der folgenden Tabelle.

| Thema, Bezug            | kulturelles Gedächtnis            | Gedächtnis der Geschichte            |
|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Ereignisse, Geschehen   | Wiederholung                      | Einmaligkeit                         |
| Ziel, Inhalt            | Stabilität der Gemeinschaft       | Ausweis von Veränderungen            |
| Zeitraum                | ferne bis mythische Vergangenheit | Menschwerdung bis nahe Vergangenheit |
| Bezug                   | Riten, Feste                      | Quellen, Dokumente, Fakten           |
| Personen                | Helden, Götter                    | reale Persönlichkeiten               |
| Art der Betrachtung     | von Innen auf die Gemeinschaft    | als Beobachter von Außen             |
| Quellenberücksichtigung | nichts hinzufügend oder wegnemend | interpretierend, erklärend           |
| Aussage                 | wortgetreu                        | wahrheitsgemäß                       |
| Emotionalität           | heiß, anmutend, erzählend         | kalt, sachlich, wissenschaftlich     |

### 3.6.2. Weitere Gedächtnisse

In den letzten Jahrzehnten sind einige weitere Gedächtnisbegriffe geprägt worden, z. B. *europäisches* oder *Art-Gedächtnis*. Nur zwei weitere seien hier noch kurz erwähnt.

Das *Gedächtnis der Dinge* bezieht sich auf vorwiegend alltägliche Gerätschaften, wie Bett und Stuhl, Eß- und Waschgeschirr, Kleidung und Werkzeug bis hin zu Häusern, Dörfern und Städten, Straßen, Fahrzeugen und Schiffen. Mit einem Werkzeug ist so auch sein Gebrauch gespeichert. Genau deshalb war das Aufbewahren eines Werkzeuges für die Entwicklung der Menschheit so bedeutsam. Nach Heidegger sieht für einen Hammer eben alles wie ein Nagel aus. So widerspiegeln diese Dinge ein „Bild“ ihrer selbst.

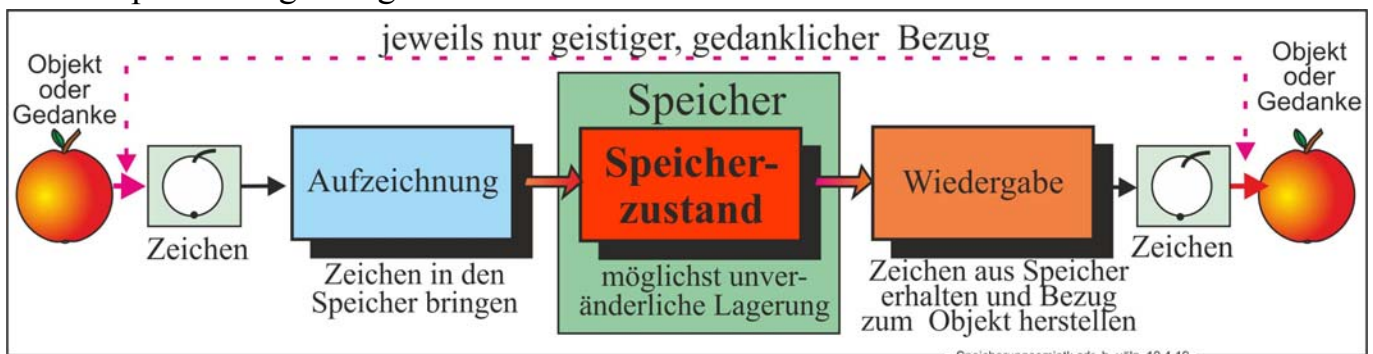
Ähnlich ist das *utilitare Gedächtnis*<sup>12</sup>: Primär benutzen wir unser Gedächtnis, um in die Vergangenheit zu „blicken“. In der Gegenwart wenden wir es praktisch an und planen darüber hinaus auch die Zukunft, um so bestmöglich Ziele zu erreichen. In einer Gemeinschaft müssen wir sie in unsere Absichten einbeziehen und deshalb deren Gedächtnisinhalte berücksichtigen. Unvermeidlich ist es in Betrieben, Organisationen und dergleichen. Es ist auch eine typische Aufgabe von Erziehern, Pfarrern, Managern, Politikern usw. Möglich wären daher auch Bezeichnungen wie *praktisches*, *nützlich* oder *angewandtes Gedächtnis*.

## 3.7. Technische Speicherungen

Technische Speicher wurden und werden vom Menschen geschaffen und sollen ihm etwas für die Zukunft oder zur Wiederholung aufheben. Daher kann zumindest teilweise Bild 2 auf Seite 3 als ein Musterbeispiel gelten. Doch im Gegensatz dazu erfolgt bei ihnen fast nur eine indirekte Speicherung gemäß Abschnitt 2.4. Das Gespeicherte, genauer der Spei-

<sup>12</sup> Lateinisch *usus* Gebrauch, Erfahrung, Nutzen und utilis brauchbar, nützlich.

cherzustand, ist dabei notwendig stofflich, verweist aber als Zeichen im Sinne von Z-Information (s. S. 54) auf das jeweilige bezeichnete Objekt oder einen Gedankeninhalt entsprechend Bild 8 auf Seite 7. Im Laufe der Geschichte sind sehr viele technische Speicher- methoden entstanden. Deren technischen Details sind sehr ausführlich und weitgehend vollständig (gültig etwa für das Jahr 2000) in Band 2 und 3 des Handbuches [Völ05], [Völ07] bzw. [Völ07a] beschrieben. Einen groben Überblick zu allen jemals vorhandenen Varianten geben die Stichwörter in dem Bild des Vorworts (dort grün hervorgehoben). Entsprechend dem Ziel dieses Buches folgen hier aber keine technischen Beschreibungen oder gar deren Details, sondern nur Grundsätzliches und Spezifisches der technischen Speicherung. Auf ihre historische Entwicklung wird später noch im Zusammenhang mit den Kenndaten im Abschnitt 3.7.4. sowie im Kontext aller acht Speicherarten (vgl. Tabelle, S. 8) eingegangen. Für die weiteren Betrachtungen ist jedoch ein gewisser Überblick zum Inhalt des Gespeicherten notwendig. Als Erweiterung von Bild 7 wird dazu mit dem allgemeinen Ablauf nach **Bild 24** begonnen. Das Objekt bzw. der Gedanke, der Begriff usw. wird durch ein stofflich-energetisches Zeichen erfasst, was dann gespeichert und so in den Speicherzustand überführt, übertragen wird, wobei sein Verweis auf das Objekt usw. völlig belanglos ist. Bei der Wiedergabe wird das Zeichen zurück gewonnen und erneut dem Objekt oder Gedanken im Sinne von dessen Bedeutung zugeordnet. Die technische Speicherung erfolgt also immer mittelbar über Zeichen.



**Bild 24.** Das Grundprinzip der technischen Speicherung.

Bezüglich der Anwendung können ebenfalls drei Varianten unterscheiden:

- **Wissensspeicher**, z. B. eine Bibliothek, ein Archiv, ein Nachschlagewerk oder eine Sammlung. Ihr Inhalt ist noch immer überwiegend nicht digital.
- **Datenspeicher** der Informatik und Elektronik, z. B. für Rechner und Datenbanken. Sie existieren fast nur digital.
- **Arbeitsspeicher**, als zentraler Bestandteil von digitalen Computern. Dazu gehören auch Puffer, Stack, Register usw.

Diese Unterscheidungen sind im Folgenden meist belanglos.

### 3.7.1. Speicherzellen

Das entscheidende und primäre Element für den Speicherzustand ist die Speicherzelle. In ihm können auch mehrere getrennte Speicherzellen enthalten sein, welche beim Speichern individuell, aber stabil verändert werden. Daher lässt sich der Umfang des Gespeicherten, des Zeichens in die folgenden drei Klassen einteilen. Es ist:

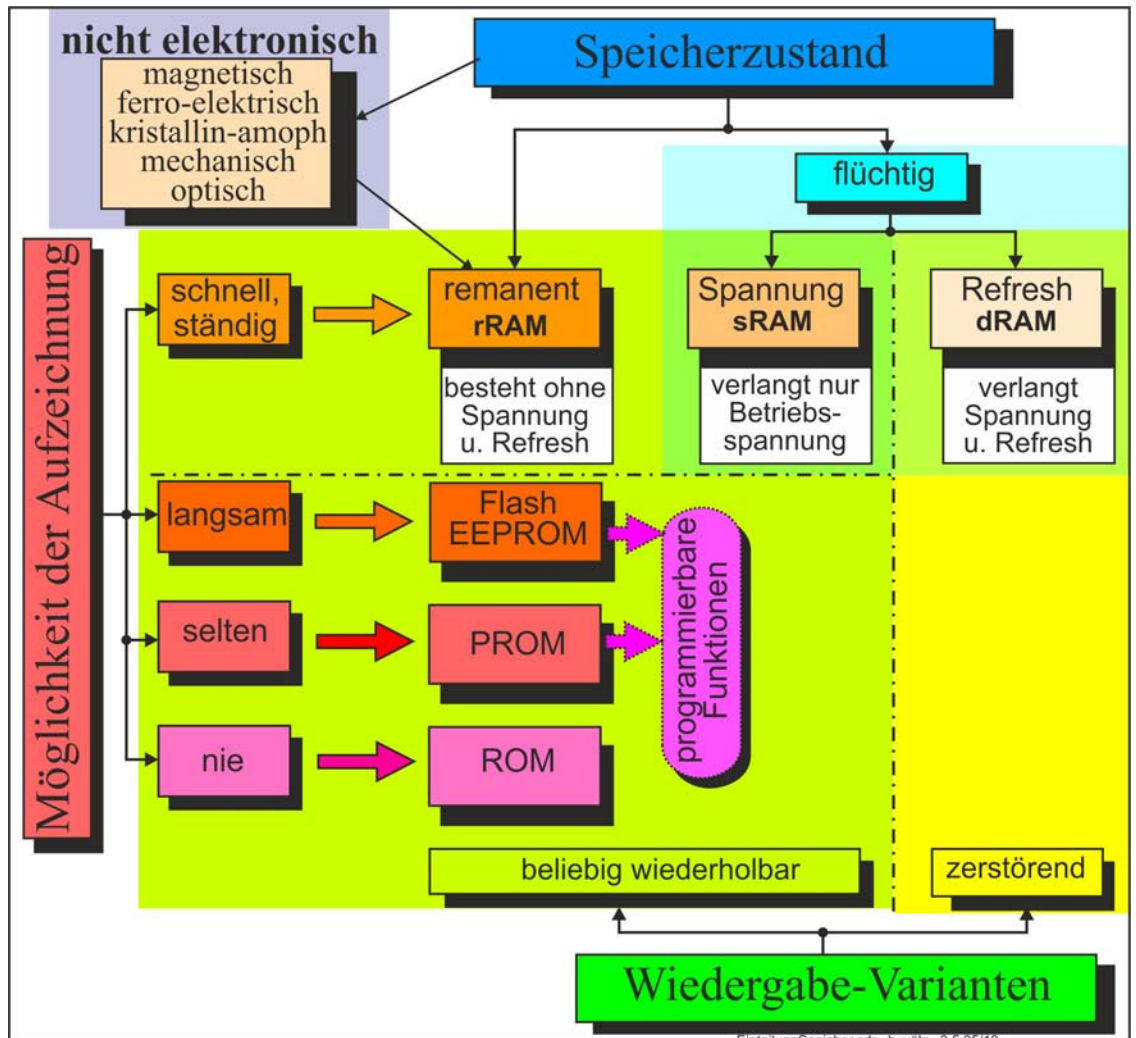
1. **binär**, besteht aus einer Ja/Nein-Entscheidung und erfordert daher nur 1 Bit.



2. **t-koninuierlich**<sup>13</sup> und tritt u. a. bei Messungen und Übertragungen als Ausprägung auf. Daher ist der jeweilige Wert immer von Störungen oder Messunsicherheiten überlagert. Es sind so  $n$  diskrete Stufen zu unterscheiden. Das gilt analog für unsere Wahrnehmungen, bei denen dann aber von logons gesprochen wird. Die  $n$  Stufen sind mit  $\text{ld}(n)$  Bit erfassbar. Das kann in einer mehrstufigen oder in mehreren binären Speicherzellen erfolgen.
3. besteht aus  $m$  Werten, die entweder zeitlich aufeinander folgen oder auf einer Linie, Fläche bzw. im Raum angeordnet sind. Zur Speicherung sind  $m$  (mehrstufige) oder  $m \cdot \text{ld}(n)$  binäre Speicherzellen erforderlich. Diese Klasse tritt vor allem beim Schall auf. Bei Bildern kann es erforderlich sein, dass zusätzlich die  $x$ - und  $y$ -Koordinaten eingeführt und gespeichert werden müssen. Beim Film und Video kommt dann noch die Zeit-Koordinate hinzu. Siehe hierzu auch Seite 54, Bild 49.

Diese Einteilung zeigt, dass für die weiteren Betrachtungen zunächst die einzelne binäre Speicherzelle zu analysieren ist. Erst danach wird dann gezeigt wie mehrere Speicherzellen beschaffen sein müssen und wie der Zugriff auf sie erfolgt.

Die einzelne Speicherzelle muss räumlich und energetisch zuverlässig von ihrer Umgebung unterscheidbar sein. Im Laufe der Entwicklung sind hierfür viele technische Varianten entstanden, die aber schwierig zu klassifizieren sind. Dennoch gibt **Bild 25** einen gewissen Überblick. Entsprechend den heutigen Anwendungen und den vielfältigen Varianten sind dabei aber nur die elektronischen Verfahren eingeteilt.



**Bild 25.** Versuch einer Klassifikation der (elektronischen) Speicherungen.

<sup>13</sup> Von *technisch* kontinuierlich. Details enthält [Völ17], S. 58.  $\text{ld}$  ist der Logarithmus zur Basis 2.

Fast alle nicht elektronischen Speicherzellen entsprechen jedoch einem rRAM (von remanent random access memory), das nach der Aufzeichnung keine wesentlichen Ergänzungen zum langfristigen Bestehen des Speicherzustandes benötigen. Schon sehr früh geschah dies bei den Felsbildern, der Schrift und körperlichen Gebilden, von den Figürchen über die Denkmäler bis zu großen Gebäuden. Neuere Prinzipien waren dann die Nockenwalzen (Spieluhr), Lochkarten, Lochband, Barkode, Schallplatte, Fotografie usw. Besonders breite Anwendung erreichten die magnetischen Verfahren infolge ihrer Hysterese, also Ferritkern, Magnetband, Magnetkarte, Diskette und Festplatte. Die ebenfalls auf Hysterese basierenden Verfahren (ferroelektrisch und kristallin ↔ amorph) wurden wesentlich später angewendet. Nur bei den elektronischen Verfahren gab und gibt es auch flüchtige Speicherzustände – u. a. Flipflop, sRAM<sup>14</sup> – bei denen durch eine Betriebsspannung der Inhalt aufrecht erhalten werden muss. Eine andere Möglichkeit benutzt das dRAM mit dem Refresh<sup>15</sup>. Eine Aufzeichnung kann schnell bis langsam, oder weil sie bei der Produktion erfolgte, nie wieder neu erfolgen. Die Wiedergabe erfolgt beliebig oft wiederholbar oder zerstörend.

### 3.7.2. Grenzen

Das Volumen einer Speicherzelle ist in **Bild 26a** als Grenz-Volumen deutlich hervorgehoben. Bei der Wiedergabe ist eine hinreichend große Energie bereitzustellen, deren Berechnungsweg der Hauptteil von Bild 26 zeigt. Allgemein existieren dafür energetische Stufen, die vor allem durch Quanten oder ausgewählte Teilchen, wie Atome oder Elektronen gegeben sind. Ferner sind auch Begrenzungen durch thermische Effekte möglich. Für sie folgt die minimale Energie mittelbar aus der Shannon-Kanalkapazität

$$C = B \cdot \text{ld} \left( \frac{P_n + P_s}{P_n} \right).$$

Darin bedeuten  $B$  die Bandbreite des Kanals,  $P_s$  die Leistung des Signals und  $P_n$  die Leistung der Störungen (noise). Bei rein thermischem Rauschen gilt mit der Boltzmann-Konstante  $k \approx 1,381 \cdot 10^{-23}$  J/K und der absoluten Temperatur  $T$

$$P_n = k \cdot B \cdot T.$$

Gemäß einem Störabstand sei die Signalleistung das  $z$ -fache:  $P_s = z \cdot P_n$ . und es gilt

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

Für das Verhältnis von Signalleistung zur Kanalkapazität ergibt sich daraus

$$\frac{P_s}{C} = k \cdot T \cdot \frac{z}{\text{ld}(1+z)} \quad \text{in } \frac{\text{J}}{\text{Bit}} \quad \text{bzw.} \quad \frac{\text{W}}{\text{Bit/s}}.$$

Aus der Reihenentwicklung folgt die beidseitige Begrenzung

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

Der Grenzwert für  $z \rightarrow 0$  bedeutet zwar, dass das Nutzsignal im Vergleich zur Störung extrem klein ist. Shannon hat aber gezeigt, dass auch unter solchen Bedingungen zumindest theoretisch eine fehlerfreie Übertragung für 1 Bit möglich ist. Jedoch ist dafür eine unendlich lange Dekodierzeit erforderlich. Also gilt (vgl. [Scz29] und [Völ82], S. 44ff):

<sup>14</sup> statischer RAM

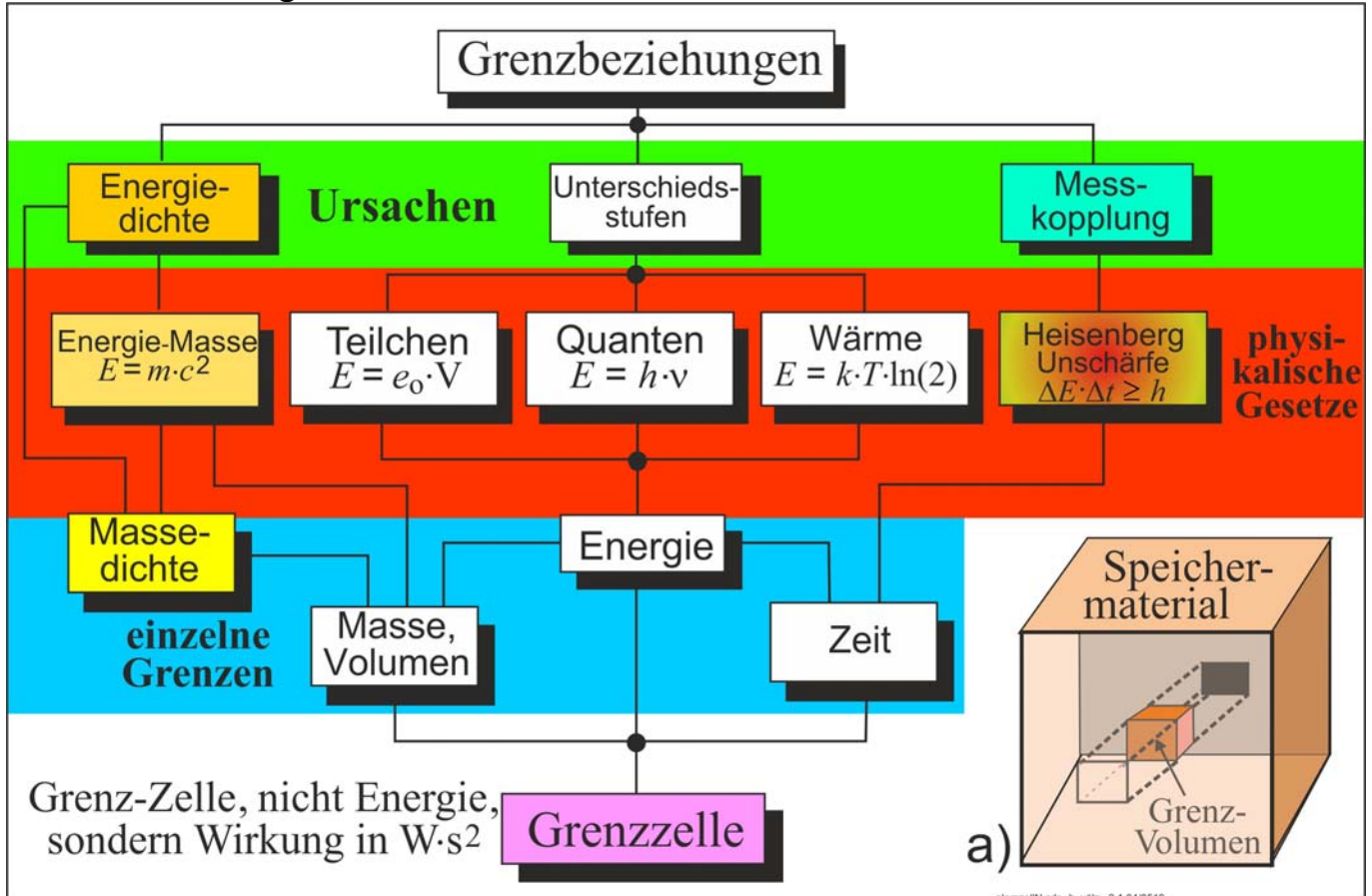
<sup>15</sup> deutsch etwa Auffrischung, also dynamisch. Bei ihm wird periodisch fortlaufend der Speicherzustand wieder hergestellt.

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

Der Wert lässt sich auch quantentheoretisch für ein 2-Bit-System herleiten [Völ82]. Bei etwa Zimmertemperatur, also 300 K ergeben sich so die Werte

$$E/\text{Bit} \geq 3 \cdot 10^{-21} \text{ J} \cong 5 \cdot 10^{11} \text{ Hz} \cong 5 \cdot 10^{-22} \text{ cal} \cong 26 \text{ mV}$$

Damit ist die Energie in Bild 25 bestimmt.



**Bild 26.** Zur Bestimmung der Grenzzone für die Speicherung.

Die Größe des minimal notwendigen Volumens folgt aus der maximal möglichen Energiedichte im Material, also im Prinzip aus der Einsteinrelation  $E = m \cdot c^2$ . Jedoch selbst bei Atomkraftwerken sind nur weitaus geringere Werte nutzbar. Nach vielen technischen Abschätzungen (Kondensator-, Magnet-Energie usw.) ergibt sich  $E_{max}/V \leq 0,5 \text{ J/cm}^3$  [Völ67]. Das entspricht etwa der Grenze der klassischen Physik mit ca. 1 000 Atomen. Eventuell ist für einen Speicher auch die **Masse** zu beachten. Dafür kann dann die Massedichte von Festkörpern zu etwa 1 bis 10 g/cm<sup>3</sup> angenommen werden. Bei der Aufzeichnung muss die Energie in die Grenzzone eingebracht werden und kann bei der Wiedergabe möglichst vollständig zurück gewonnen werden. Dabei tritt aber zumindest die Heisenberg-Unschärfe auf. Deshalb wird eine Zeit  $\Delta t \geq \Delta E \cdot h$  benötigt und mit oben gilt

$$\Delta t \geq \frac{h \cdot \ln(1+z)}{k \cdot T \cdot z} \geq \frac{5 \cdot 10^{-11}}{T}$$

Bei der Zimmertemperatur  $T \approx 300 \text{ K}$  und einem Störabstand  $z \approx 60 \text{ dB}$  (1:1 000) folgen so etwa  $10^{-13} \text{ s}$ .

Recht ähnliche Produktbildungen treten auch in anderen Zusammenhängen auf. Für digitale Logikschaltungen ist es z. B. das Produkt aus Schaltzeit mal Energie. Bei der Speicherung ist ähnliches bisher kaum beachtet. So wundert sich z. B. Schrödinger, dass

bei der Genetik die Nukleinsäuren (DNS) mit ihren geringen Energieschwellen hinreichend lange stabil sind [Sch51]. Wird jedoch die technisch betrachtete, sehr langsame Duplikationszeit (ca. 2 000 Sequenzen/s) berücksichtigt, so entstehen Werte, die durchaus mit der Erfahrung übereinstimmen.

Grenzen existieren aber nicht nur für die Speicherzelle, sondern auch bei den Speicherprozessen. So muss bei der Aufzeichnung die entsprechende Energie exakt in das kleine Volumen der Speicherzelle hinein konzentriert werden und darf dabei keine Nachbarzelle beeinflussen. Das leistet selbst ein Magnetkopf mit seinem sehr engen Spalt von weniger als ein  $\mu\text{m}$  nur ungenügend. Denn die Länge seines Spaltes (die Spurhöhe auf dem magnetischen Material) ist kaum unter ein  $\text{mm}$  nutzbar. Von allen erdenklichen Verfahren dürfte nur noch die Lichtfokussierung bessere Werte und das sogar im Volumen ermöglichen. Für eine Optik mit der Apertur  $A_n$  beträgt bei der Wellenlänge  $\lambda$  der Durchmesser des Brennflecks  $D \approx 0,6 \cdot \lambda / A_n$  und seine Länge  $L \approx \lambda \cdot A_n$ . Das Brennvolumen ist daher unabhängig von der Apertur und beträgt

$$V_{Br} \approx \lambda^3.$$

Bereits mit sichtbarem Licht ist damit ein Volumen möglich, das (heute) kaum von einem technisch genutzten Verfahren erreicht werden kann.

Mit der Frequenz  $\nu$  des Photons und der Lichtgeschwindigkeit  $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s folgt für die Energie eines Photons

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

Bei der Bündelung auf das Brennvolumen  $V_{Br}$  herrscht dann dort die Energiedichte

$$w = \frac{E}{V_{Br}} = \frac{h \cdot c}{\lambda^4}, \text{ also gilt } \lambda = \sqrt[4]{\frac{h \cdot c}{w}}.$$

Mit einer hinreichend kurzen Wellenlänge wären daher theoretisch beliebig hohe Energiedichten erreichbar, und für die optische Aufzeichnungsdichte gibt es theoretisch keine Grenze. Aber wegen der maximal möglichen Energiedichte des Speicherzustandes von  $w \approx 0,5 \text{ J/cm}^3$  folgt dann eine Grenzwellenlänge von 25 nm, also fernes ultraviolettes Licht. Mit dem daraus folgenden Volumen von  $500 \text{ nm}^3$  ergäbe sich die Speicherdichte von  $\approx 10^{22} \text{ Bit/m}^3$ . Obwohl für die Halbleiterlithographie Strichbreiten um 20 nm möglich sind, dürfte wegen der weitaus dickeren Schichten auch auf längere Sicht kein so kleines Volumen erreichbar sein. Für die Zukunft bestehen also noch erhebliche Reserven.

Bei der **Wiedergabe** ist eine energetische Kopplung mit dem Speicherzustand erforderlich. Damit Nachbarzellen nicht miterfasst werden, ist auch hier die hohe räumliche Konzentration notwendig. Maximal kann dabei die gesamte Energie des Speicherzustandes zurück gewonnen werden. Dann wird jedoch automatisch der Speicherzustand zerstört. Eine nichtzerstörende Wiedergabe kann folglich nur deutlich weniger Energie, nämlich bis zu einer Stabilitätsschwelle  $E_0$  nutzen. Wegen des Wirkungsgrades der Wiedergabewandler wird die wirklich genutzte Energie noch zusätzlich geringer. Während Magnetköpfe Wirkungsgrade bis über 90 % ermöglichen, sind z. B. bei der magnetooptischen Wiedergabe nur wenige % erreichbar. Die schließlich verfügbare Energie muss dann noch mit gutem Störabstand in ein technisch nutzbares Signal verstärkt werden. Dennoch ist es oft möglich, nacheinander beliebig viele Wiedergabevorgänge ohne Zerstörung zu realisieren.



Insgesamt ergibt sich so für die drei Speicherdichten  $S$  die Relation:

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

Letztlich bestimmt damit fast immer die Wiedergabe die Grenze der technisch erreichbaren Speicherdichte.

Für die **Beständigkeit** (Lebensdauer) einer Speicherung ist dagegen fast nur der Speicherzustand zuständig. Zu seiner Abschätzung kann die Arrhenius-Gleichung von 1896 benutzt werden. Für eine Sicherheit von 50 % gilt die Halbwertszeit

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

Darin bedeuten  $T$  die absolute Temperatur,  $k \approx 1,36 \cdot 10^{-23}$  J/K die Boltzmann-Konstante und  $t_0$  eine Zeitkonstante. Letztere beträgt für Elektronenbahnen  $\approx 3 \cdot 10^{-15}$  s, für Gitterschwingungen  $\approx 10^{-4}$  s. Folglich gibt es keinen absolut sicheren Speicherzustand. Jedoch kann bei mehreren Speicherzellen eine höhere Zuverlässigkeit durch Fehlerkorrektur erreicht werden.

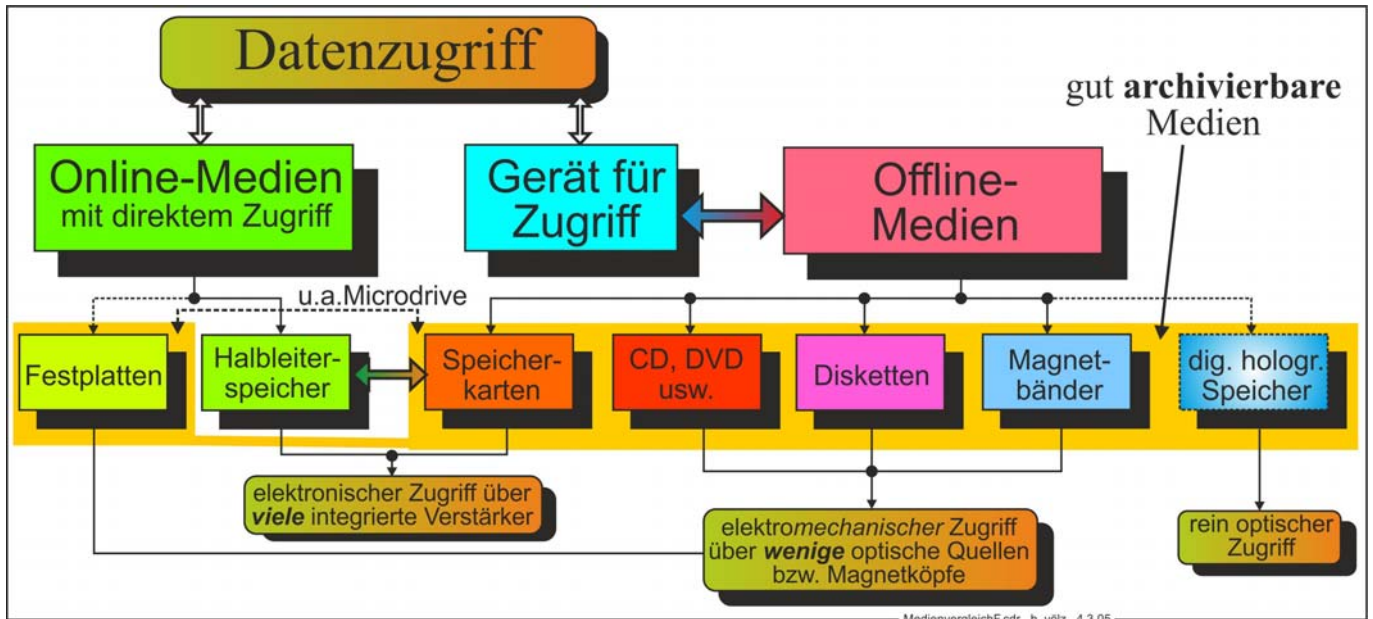
### 3.7.3. Zugriff bei mehreren Speicherzellen

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf eine einzelne und meist binäre Speicherzelle mit den Zuständen Ja oder Nein. Vielfach können sie aber auch mehrstufig sein. Bei Anwendungen werden zusätzlich fast immer viele Speicherzellen auf einem Speichermedium zusammengefasst. Dennoch müssen sie einzeln adressiert werden. Das sei an wenigen, ausgewählten Beispielen erklärt:

In einem (Text-) Buch gibt es unabhängig vom Font je Zelle ein Schriftzeichen aus einer Auswahl von  $2^8 = 256$  Buchstaben plus Sonderzeichen. Auf einer ausgewählten Seite werden sie dann einzeln durch die Zeilen und Spalten erreicht. In einem Bilderbuch sind auf einer Seite für die einzelnen Pixel je Zeile und Spalte bei 3 Farben und  $2^8 = 256$  Intensitäten aber bereits  $2^{24} \approx 17 \cdot 10^6$  Stufen möglich. Bei Schall treten die einzelnen Zeichen nacheinander auf. Sie besitzen oft über tausend, also etwa  $2^{10}$  Stufen. Beim Film oder Video sind Ton und Bild zusätzlich kombiniert. Weniger übersichtlich – weil vielfältiger – ist die Speicherung von Daten. Hier werden je elektronische Speicherzelle meist nur eine, aber maximal  $2^3 = 8$  Stufen benutzt.

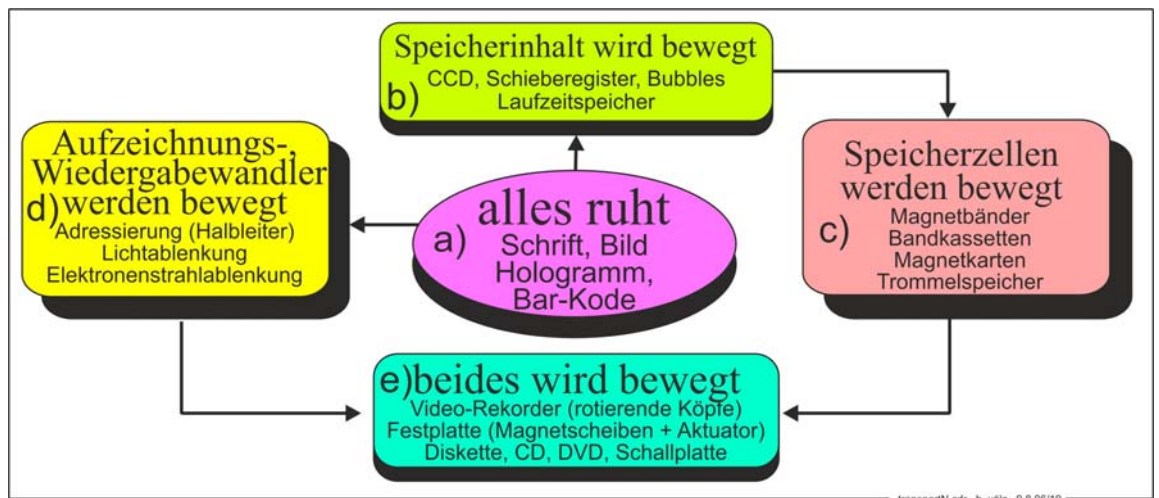
Eine weitere wichtige Unterscheidung der Speichermedien mit den vielen dort vorhandenen Speicherzellen betrifft zwei Medienarten. Benötigt das Speichermedium für den Zugriff eine getrennte, zusätzliche Einrichtung, einen Baustein bzw. ein getrenntes Gerät, dann liegt ein Offline-Medium vor. Ist dieser Zugriff aber mit eingebaut und wird nicht zusätzlich benötigt, so ist es ein Online-Medium. Offline-Medien ermöglichen eine bessere Archivierung mit geringerem Volumen je Bit. Online-Medien besitzen meist einen schnelleren Zugriff. Für die wichtigsten Speichermedien zeigt **Bild 27** diese Zusammenhänge. Für die verschiedenen Speichermedien können 5 Varianten des Zugriffs auf eine Speicherzelle gemäß **Bild 28** unterschieden werden. Nur beim Lesen von Schrift oder Betrachten von Bildern kann das Gespeicherte völlig ruhen (a). Bei den anderen technischen und insbesondere elektronischen Anwendungen sind unterschiedliche Bewegungsarten erforderlich. In Schieberegistern usw. bewegt sich nur der gespeicherte Inhalt von Zelle zu Zelle (b). Oft erfolgt das sogar mit zyklischem Umlauf (vgl. Gegenwartsgedächtnis, Bild 19, S. 22). Bei Offline-Medien, wie Magnetbänder, -kassetten, -karten (z. T. auch bei den alten Trommelspeichern) bewegt sich das Speichermedium, wodurch die einzelnen Speicherzellen nacheinander den feststehenden Aufzeichnungs- bzw. Wiedergabekopf und

damit deren Verstärker erreichen (c). In wenigen Sonderfällen realisiert auch eine Licht- oder Elektronenstrahlableitung indirekt das Erreichen der einzelnen Zellen. Bei der elektronischen Speicherung genügen Umschalter (d). Nur in einzelnen Fällen bewegen sich sowohl das Medium als auch die Aufzeichnungs-Wiedergabe-Einrichtung (e).



**Bild 27.** Unterscheidung und Einordnung von On- und Offline-Medien.

**Bild 28.** Varianten für den Zugriff auf ausgewählte Speicherzellen.

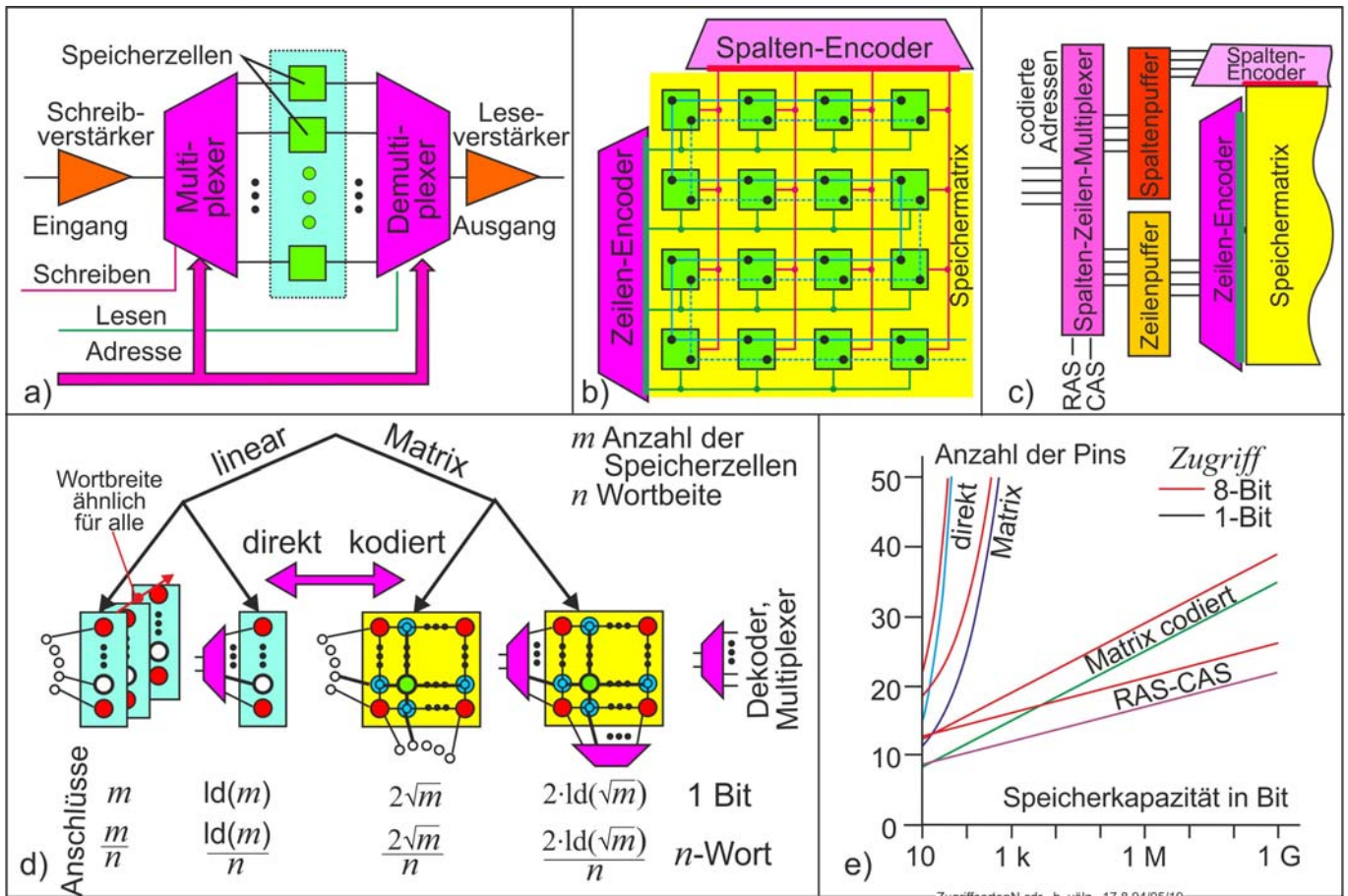


Für die elektronischen Speicher entstanden mehrere komplizierte (stufenweise kodierende) Zugriffsumschaltungen. Die Ursache dafür erzwang vor allem die Mikroelektronik. Der kleine Chip kann nur relativ wenige Pins<sup>16</sup> für den Einbau in ihre Schaltung aufnehmen. Über ihn müssen bis zu Millionen Speicherzellen einzeln oder in Wortbreiten bis zu 32 Bit angewählt werden. Dabei entstanden mehrere Prinzipien.

Die wichtigsten Varianten für den elektronischen Zugriff zeigt **Bild 29**. Mit einem Multiplexer werden bei  $m$  Eingängen bereits  $2^m$  Speicherzellen adressiert (a). Doch erheblich leistungsfähiger ist eine quadratische Speichermatrix aus  $m$  Zeilen und  $m$  Spalten (gelber Teil in b). Mit  $2m$  Anschlüssen sind dann  $m^2$  Zellen einzeln zu erreichen. Wird dann noch ein Spalten- und Zeilen-Encoder (b) vorgesetzt, so werden nur noch  $2\sqrt{m}$  Anschlüsse benötigt. Mittels RAS und CAS (engl. row bzw. column address select) können

<sup>16</sup>Nach engl. pin Nadel, Pflock usw. werden so die nach außen geführten elektrischen Anschlüsse genannt.

die Anschlüsse noch einmal halbiert werden. Dann werden die beiden zwischengeschalteten Puffer sequentiell mit der Zeilen- und Spaltenadresse gefüllt (d). Den Zusammenhang zwischen Pinzahl und Speicherkapazität weist (e) für eine einzelne Matrix ohne Bit-tiefe aus.



**Bild 29.** Die Zugriffsmethoden bei elektronischen Speichern.

Für die heute üblichen großen Datenmengen reichen die genannten Methoden oft nicht mehr aus. Daher werden dann auf einem Chip analog zu den Buchseiten mehrere Speicher-matrizen angeordnet, die einzeln ausgewählt werden. Eine weitere und auch zusätzliche Steigerung ist bei den Speicher-matrizen mittels einer Wortbreite von  $n$  Bit zu erreichen. Diese  $n$  Zellen werden dabei immer mit nur einem Zugriff ausgewählt. Die sich so ergebenden Möglichkeiten ergänzt (d) mit den dazugehörigen Formeln.

Eine Suche nach ausgewählten Daten in einer großen Datei kann sehr langwierig sein. Daher entstand bereits in den 1950er Jahren der assoziative<sup>17</sup> Speicher mit voll parallelem Zugriff auf alle ihre Daten. Hierfür wurde der Name CAM (content access memory) als Gegensatz zum anderen SAM (serial addressable memory) geprägt. Mit der folgenden Tabelle wird sein Prinzip anschaulich erklärt. Sie ist der Auszug aus einer großen Datenbank für eine Partnersuche und enthält die wichtigsten persönlichen Daten der Suchenden. Es werden nun z. B. unverheiratete, männliche Personen im Alter von 25 bis 35 Jahren mit dem Hobby Foto gesucht. Dann brauchen mit der entsprechenden Maske nur die gelben Spalten durchsucht zu werden. Wo dabei Übereinstimmung mit der Suchanfrage besteht wird in der Spalte Marke ein „\*“ gesetzt.

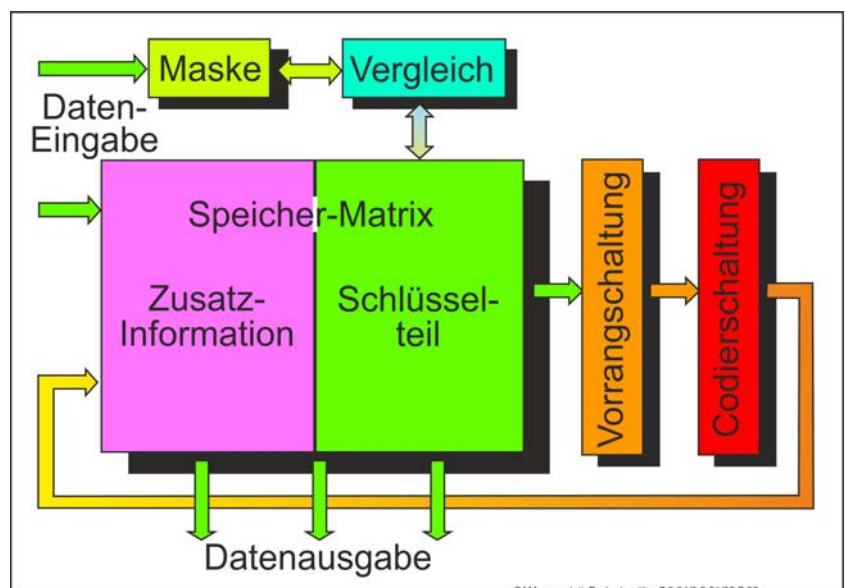
<sup>17</sup> lateinisch ad- hin, zu und socius Gefährte.

| Nr.   | Name    | weiblich | Alter   | ledig | Kinder | Hobby       | Marke |
|-------|---------|----------|---------|-------|--------|-------------|-------|
| 45    | Meyer   | 0        | 30      | 0     | 0      | Theater     |       |
| 46    | Müller  | 1        | 35      | 1     | 1      | Briefmarken | *     |
| 47    | Schulze | 0        | 27      | 1     | 2      | Foto        | *     |
| 48    | Altmann | 0        | 40      | 1     | 0      | Foto        |       |
| 49    | Schmidt | 1        | 30      | 0     | 2      | Reisen      |       |
| 50    | Lindner | 0        | 28      | 1     | 0      | Foto        |       |
| Maske | ×       | 0        | 25 – 35 | 1     | ×      | Foto        |       |

Durch komplexe Speicherzellen – die allerdings je Bit 10 Transistoren erfordern – erfolgt das Durchsuchen und Markieren beliebig großer Dateien voll parallel in nur einem Takt, also sehr schnell. Den Prinzipaufbau eines assoziativen Speichers zeigt **Bild 30**. Die Speichermatrix enthält für die obige Tabelle den Schlüsselteil, der um einen Teil für ergänzende Beschreibungen ergänzt wird.

Im Speicher „Maske“ werden die individuellen Wünsche für den Vergleich eingegeben. Für die Ausgabe der markierten Datensätze existiert eine Vorrangschaltung. Trotz der großen Vorteile hat sich der assoziative Speicher bisher immer noch nicht durchsetzen können und das obwohl mit der Mikroelektronik keine Herstellungsprobleme bestehen.

**Bild 30.** Prinzipaufbau eines assoziativen Speichers, [Völ89].

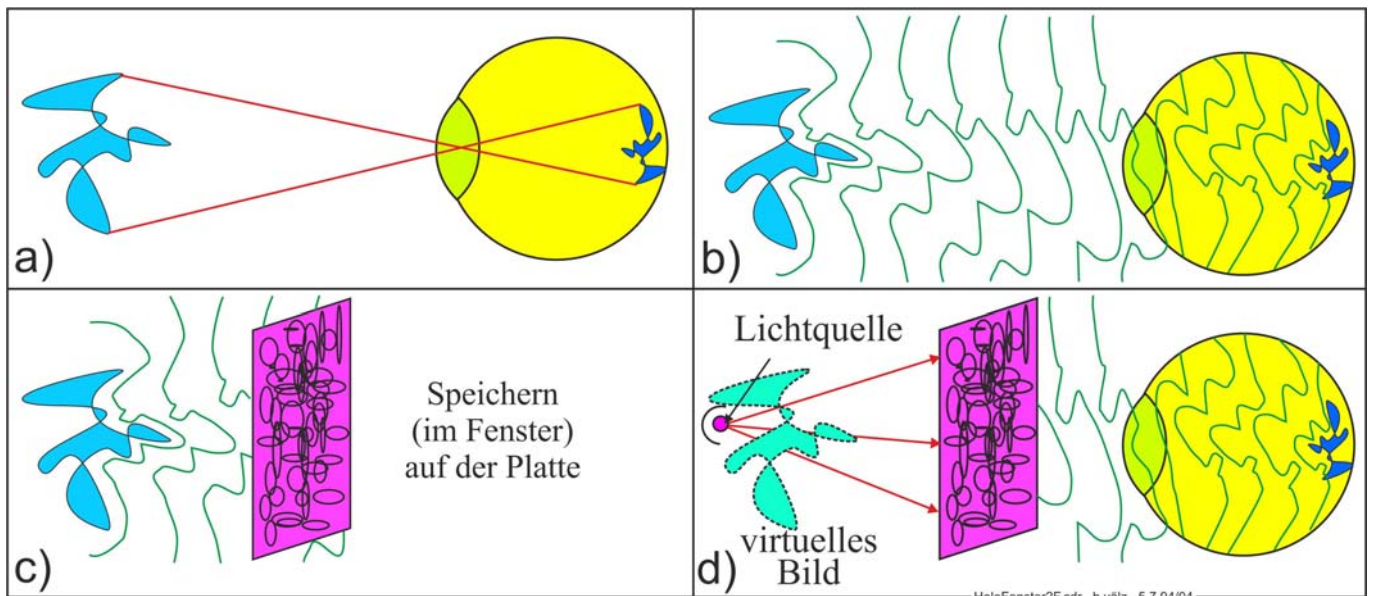
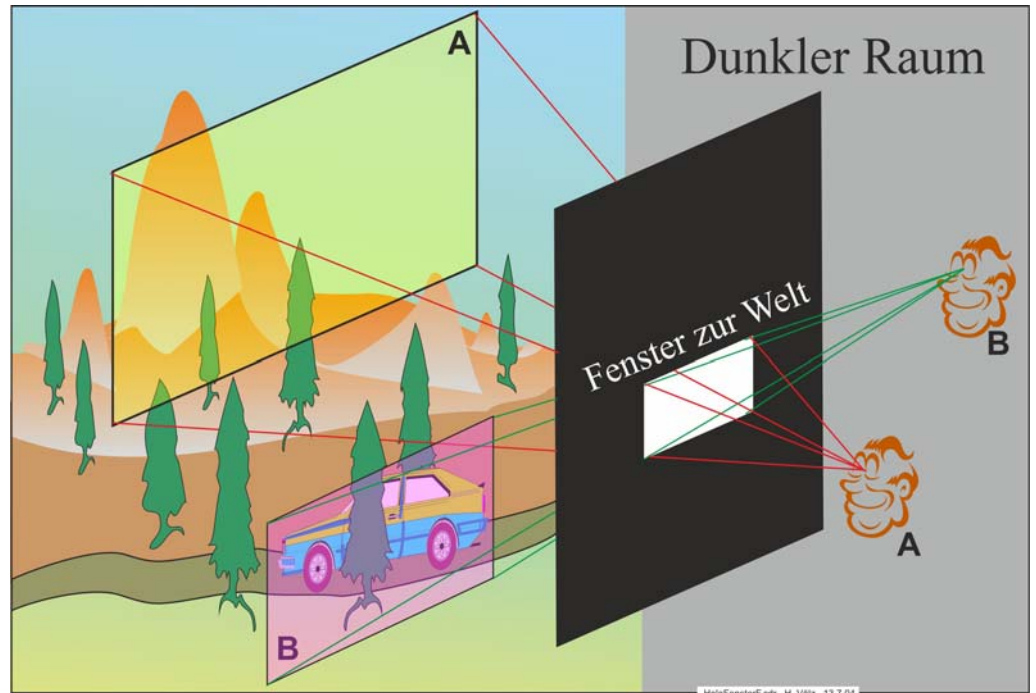


Eine sehr spezielle Zugriffsmethode auf Speicherinhalte bietet die **Holografie**<sup>18</sup>. Sie wurde 1948 von Dennis Gábor jedoch für die räumliche Bildwiedergabe entwickelt. Ihr Prinzip geht aus **Bild 31** hervor. Durch ein Fenster (weißes Rechteck rechts im Bild) kann aus verschiedenen Richtungen Unterschiedliches von der links dargestellten Außenwelt gesehen werden. Dies Alles muss aber gleichzeitig durch das Fenster erfolgen. Auf das Wesentliche reduziert zeigt **Bild 32**, wie das schematisch mittels Speicherung geschehen könnte. In (a) wird dabei das blaue Objekt per Lichtstrahlen im Auge abgebildet. In (b) geschieht dasselbe wellenoptisch mittels fortschreitenden Wellenfronten. Im Prinzip könnte alles als Wellenfront auf einer Fläche (rot) gespeichert und dann wieder erzeugt werden (c und d). Könnte die Wellenfront irgendwie eingefroren werden, so ließe sich analog dazu die gesamte Außenwelt in Bild 32 sichtbar zurückgewinnen. Doch wegen der hohen Lichtfrequenzen, ist zumindest nach heutigen Kenntnissen einstweilen kein technisches Speicherungsverfahren verfügbar. Daher entwickelten Gabor und mehrere Nachfolger den Umweg mit Welleninterferenzen.

<sup>18</sup> griechisch holos, ganz und gramma Geschriebenes.



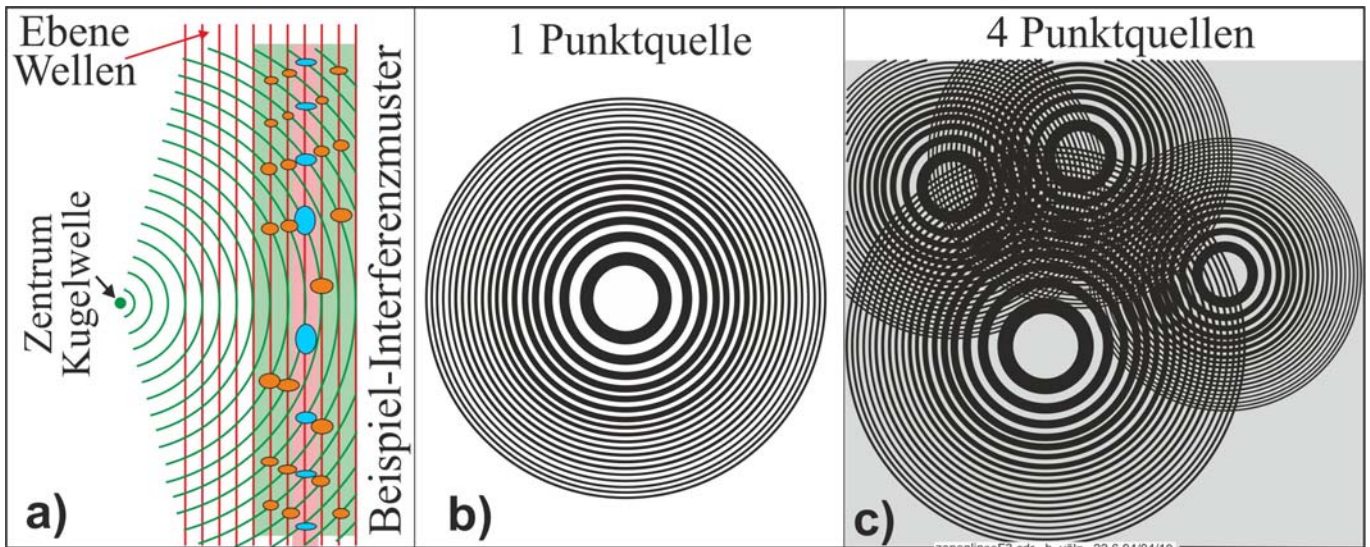
**Bild 31.** Zur Einführung der Holografie. Durch das Fenster sehen A und B verschiedene Ausschnitte von der Außenwelt.



**Bild 32.** Der Weg zur holografischen Speicherung mit sichtbarem virtuellem Bild.

Für eine wellenoptische Interferenz überlagern sich zwei kohärente Wellen und erzeugen das Hologramm. In **Bild 33a** geht eine Welle von einer Punktquelle aus, die dadurch die kugelförmigen Wellenfronten (grün im Bild) erzeugt. Die anderen Wellenfronten (rot im Bild) stammen von einer unendlich fernen Quelle und sind daher streng parallel. Wo beide Wellenfronten die gleiche Phase besitzen, da addieren sich ihre Intensitäten und erzeugen die kleinen leuchtenden Ellipsen (rot und blau). Dazwischen vernichten sie sich. Wird nun eine Ebene, die mit den blauen Ellipsen, ausgewählt, so entsteht auf dieser Ebene ein Bild gemäß (b). Seine Gestalt kann auch technisch realisiert werden, wobei die schwarzen Kreise undurchsichtig sind. Sie wirkt dann ähnlich wie eine Linse und heißt daher Zonenlinse (nicht mit Fresnellinse verwechseln!). Bei mehreren Punktquellen überlagern sich die Leuchtringe und es entsteht ein Bild gemäß (c) als gespeichertes Hologramm der Punktquellen. Punkte als Lichtquellen werden sich überlagernd in der Form von Zonenlinsen gespeichert. Folglich ist jeder so gespeicherte Punkt in der ganzen Fläche des Hologramms

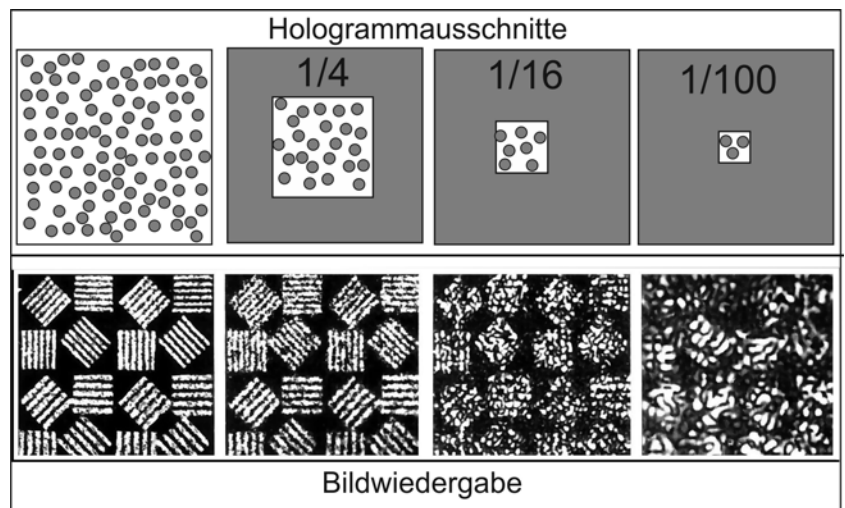
vorhanden und besitzt ganz im Gegensatz zu den bisher behandelten Speicherungen keinen eigenen Ort. Das verlangt eine sehr spezielle Zugriffsmethode. Anders ausgedrückt: an jedem Ausschnitt eines Hologramms ist etwas, oft ausreichend viel vom Original vorhanden. Daher ist das Bild scheinbar nicht von der gespeicherten Hologrammgröße abhängig. Abhängig ist aber seine Qualität, wie es **Bild 34** ausweist.



**Bild 33.** Von der Interferenz über die Zonenlinse (b) zum Bild.

Im Folgenden wird die Holografie nicht weiter behandelt. Dafür sei u. a. auf [Völ05] verwiesen, wo viele Details, Anwendungen, Literatur usw. vorhanden sind. Hier wurden nur jene Inhalte erfasst, die für einen Datenzugriff wesentlich sind.

**Bild 34.** Auswirkungen der Hologrammgröße auf die Qualität des gespeicherten Bildes. Die Punkte in den oberen Bildern sollen Zentren der zonenlinsenförmigen Strukturen andeuten.

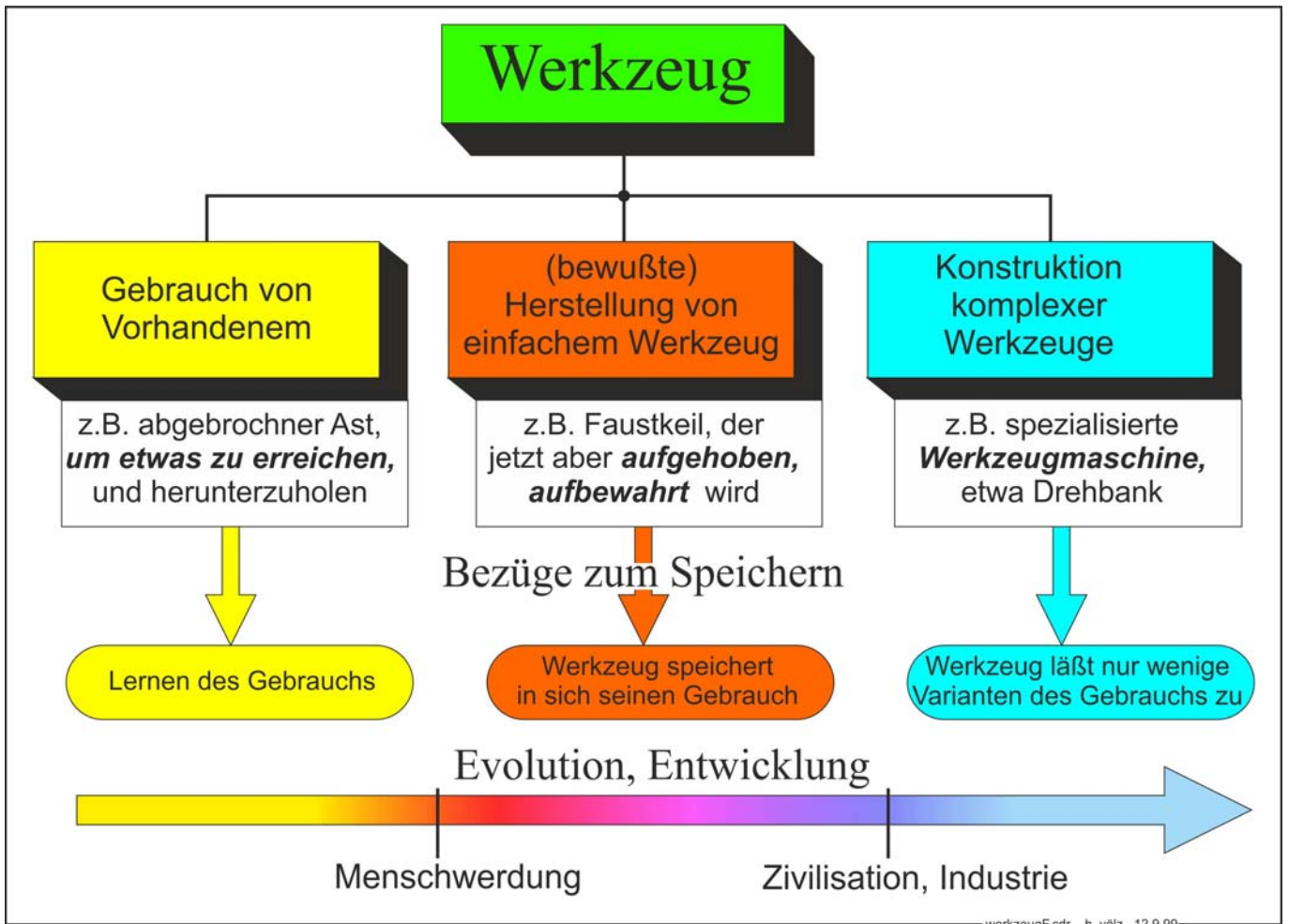


### 3.7.4. Entwicklung der Technik

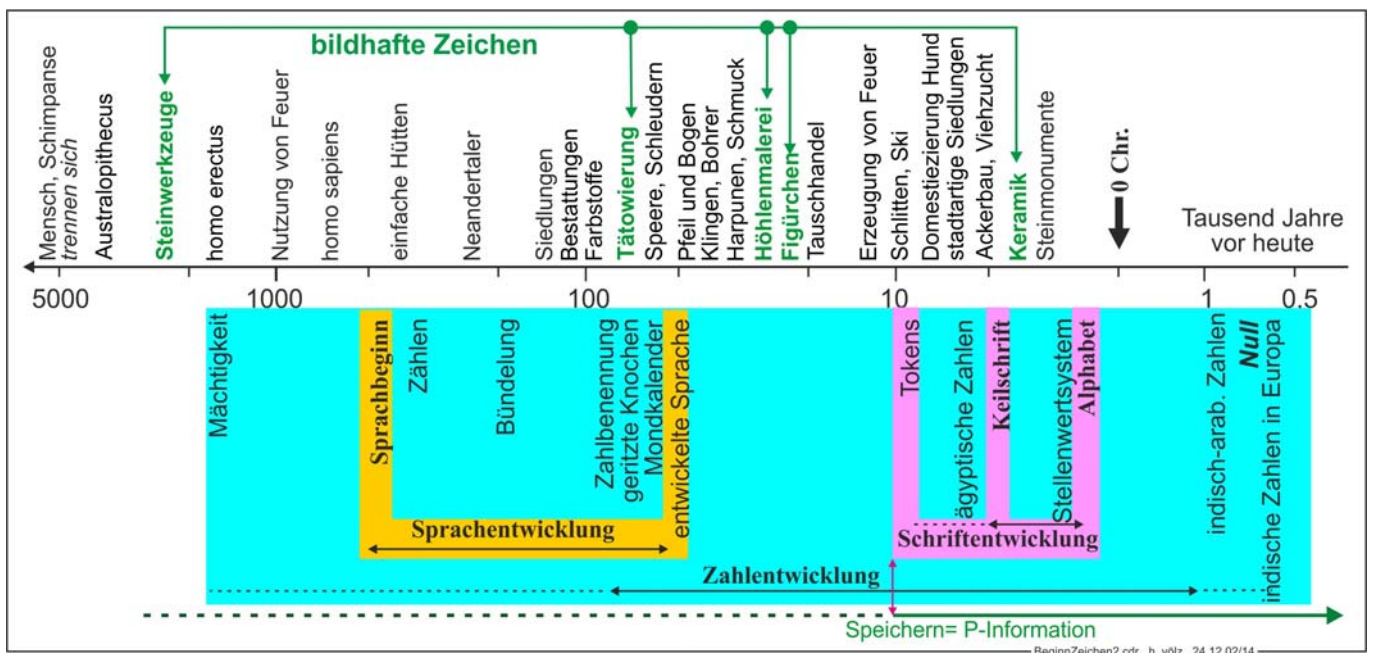
Ursprünglich beginnt eine technische Speicherung mit dem Aufheben von Werkzeug, in dem der Gebrauch gespeichert ist (vgl. S. 2). Bereits 1847 wies P. J. Proudhon darauf hin, dass alle menschlichen Werkzeuge zugleich Träger und Instrumente des Wissens sind. Generell sind dabei die drei Stufen von **Bild 35** zu unterscheiden.

Nach der Sprachentwicklung entstehen die Schrift sowie die Zahlen und als nächste Varianten Höhlenbilder und Figürchen. Schematisiert zeigt das **Bild 36**. Später entstehen auch Musikautomaten und Glockenspiele. Eine Weiterentwicklung der Schrift ist der Druck. Betont gerätetechnische Varianten entstehen erst ab 1850 mit der Fotografie. Die dann folgende, umfangreiche Entwicklung zeigt vereinfacht **Bild 37**. Sie ist oben nach den drei Medientypen: Bild, Film und Ton unterteilt und dann für Bild und Ton noch detaillierter im gelb unterlegten Bereich dargestellt.

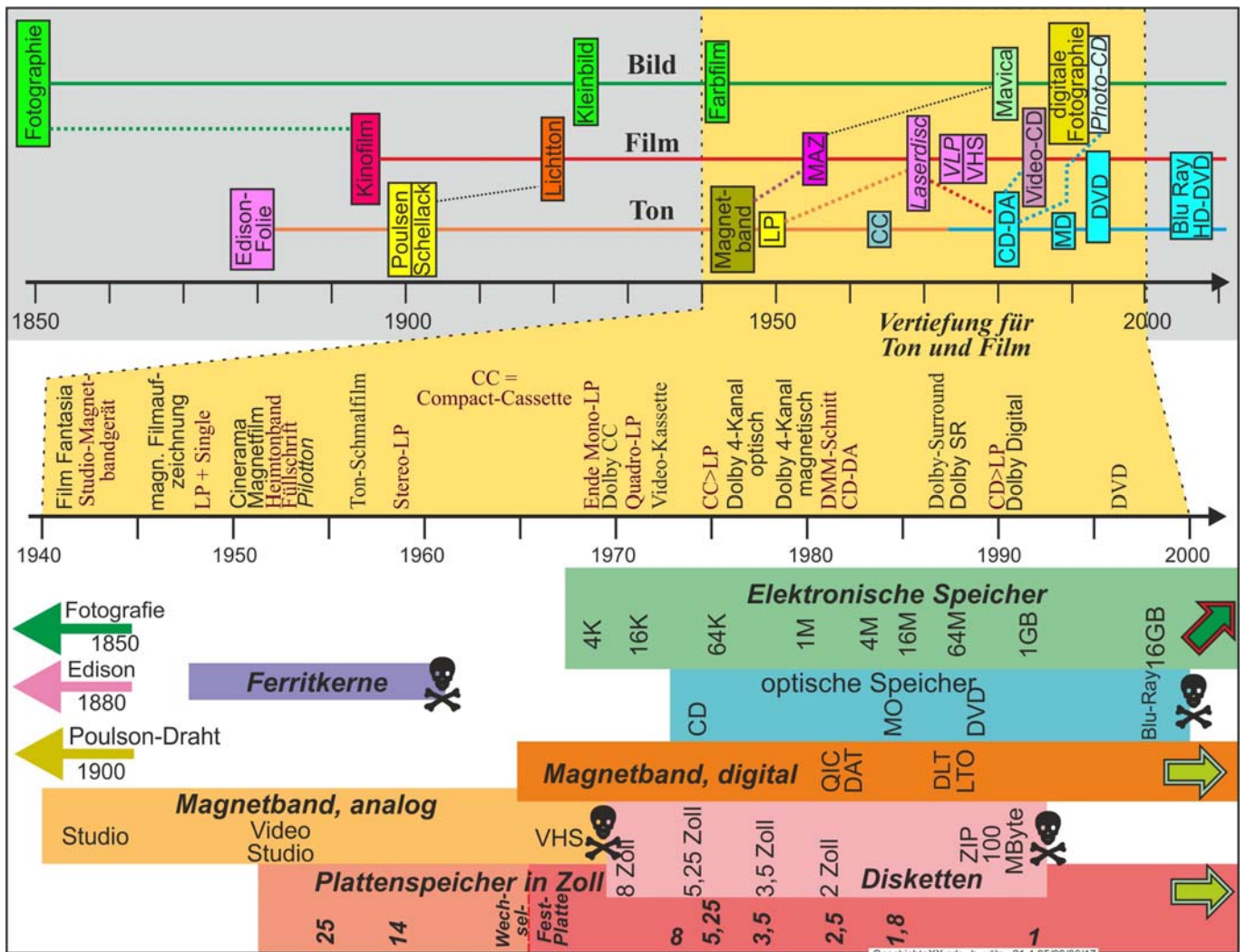




**Bild 35.** Zur Entstehung und Entwicklung von Werkzeug



**Bild 36.** Die relativ einfachen Anfänge der Technik.



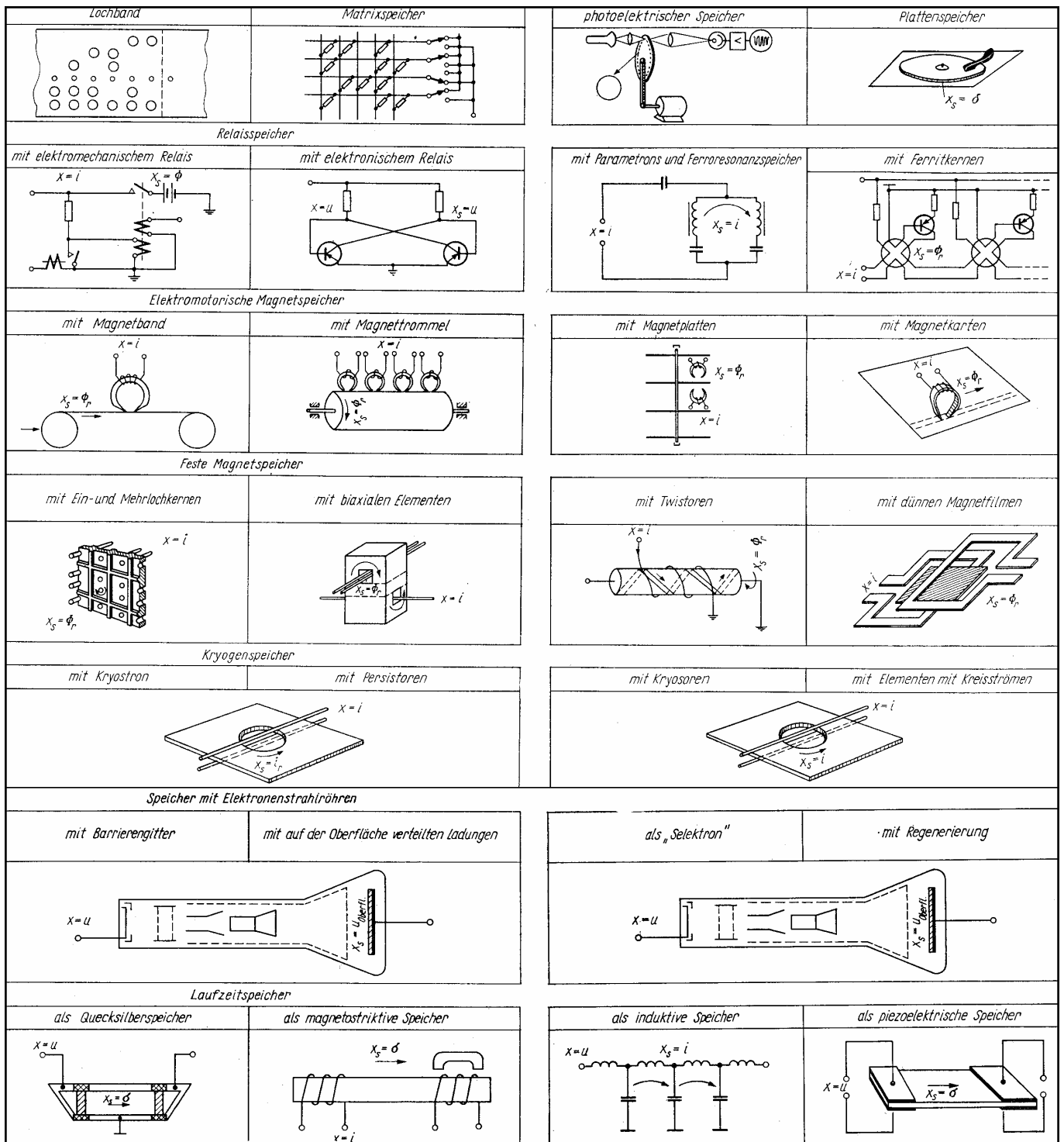
**Bild 37.** Entwicklung der massenhaft technisch gefertigten und angewendeten Speicher

Im unteren Bildteil ist für die Medien ab etwa 1940 jener Zeitbereich ausgewiesen, in dem sie massenweise genutzt wurden. Nach ihrer Einführung endeten sie oft recht plötzlich, was durch Totenköpfe gekennzeichnet ist. Ungewöhnlich verkürzt erscheint die Anwendung vor allem bei den optischen Speichern (CD, DVD usw.) und den Disketten. Eigentlich haben bis heute nur drei Varianten überlebt: die elektronischen Speicher, die digitalen Magnetbandspeicher für Archive und die Festplatten für einen schnelleren Zugriff. Ihre Anwendungen schrumpfen aber bereits beachtlich durch die elektronischen Speicher. So sank der Anteil der Festplatten am weltweiten Speichervolumen von etwa 70 % um 2000 auf 15 % um 2017. Insgesamt sind aber auch einstweilen keine neuen Speichervarianten – etwa quantenphysikalisch – zu erwarten. Das alles ist eigentlich erstaunlich, denn es gab Zeiten, wo alle nur erdenklichen Methoden für Speicher genutzt wurden. So konnte Lerner um 1970 eine recht umfangreiche Zusammenstellung vorweisen, aus der **Bild 38** hervorgeht [Ler79].

Auffällig ist weiter, dass in fast allen Lehrbüchern der Informatik und Elektronik, der Speicher als Bauelement so gut wie nie vorkommt. Das gilt sogar dann, wenn betont wird, dass er technologisch die Entwicklung der Mikroelektronik wesentlich bestimmt hat. Es werden stattdessen immer zwei Basisbauelemente, allerdings mit unterschiedlichen Bezeichnungen gemäß **Bild 39** (s. S. 46) behandelt. Die Automatenzustände in den sequentiellen Schaltungen müssen allerdings immer durch Speicher realisiert werden. Durch eine genauere Betrachtung der Zusammenhänge ergibt sich daher **Bild 40**. Die Basis-Elemente



sind aber die kombinatorische Schaltung und der Speicher. Sie bestimmen sich gegenseitig und aus beiden folgt die sequentielle Schaltung. Ferner lassen sich hieraus weitere Varianten wie das Flipflop, der minimale Speicher als ROM (read only memory), der Kodierer usw. ableiten.



**Bild 38.** Die Speichervarianten um 1970 nach Lerner [Ler79].

| Begriffe der binären Technik<br>Es fehlt immer der Speicher   |   |
|---|---|
| kombinatorische Schaltung   | sequentielle Schaltung  |
| Synonyme<br>z.T. mit etwas abweichender Bedeutung   |   |
| Schaltwerk,<br>statische Logik,<br>binäre Schaltung,<br>Zuordner,<br>Codierer.  | Schaltnetz,<br>Folge-Schaltung,<br>dynamische Logik.  |
| Theorien  |   |
| Schaltalgebra<br>Boolesche Algebra<br>formale Logik<br>Karnaugh-Diagramm  | Automatentheorie<br>Petrietze   |
| <p style="text-align: center;"><i>zeit-invariant</i></p> <p style="text-align: center;"><math>x_a = f(x_1, x_2, \dots, x_n)</math><br/>ohne Zeiteinfluß</p> | <p style="text-align: center;"><math>x_a = f(Z_i, x_e)</math><br/><math>Z_i = g(Z_i, x_e)</math><br/>komplexe und zeitabhängige<br/>Auswirkung der Eingänge</p> |

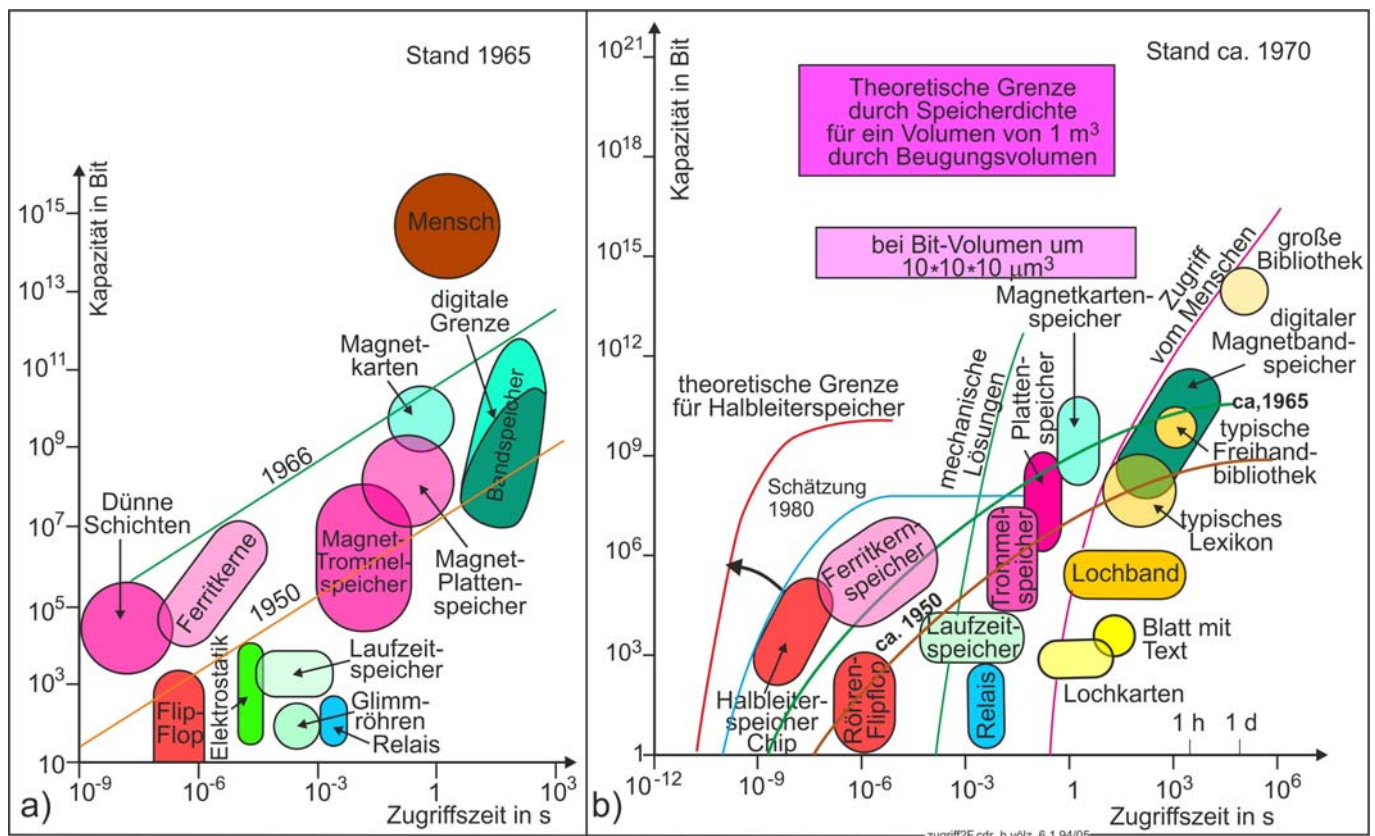
**Bild 39.** Die beiden informationstechnischen Grundbauelemente.



**Bild 40.** Kombinatorische Schaltung und der Speicher als Ausgangsschaltungen für alle weiteren binären Schaltungen.

### 3.7.5. Kenndaten

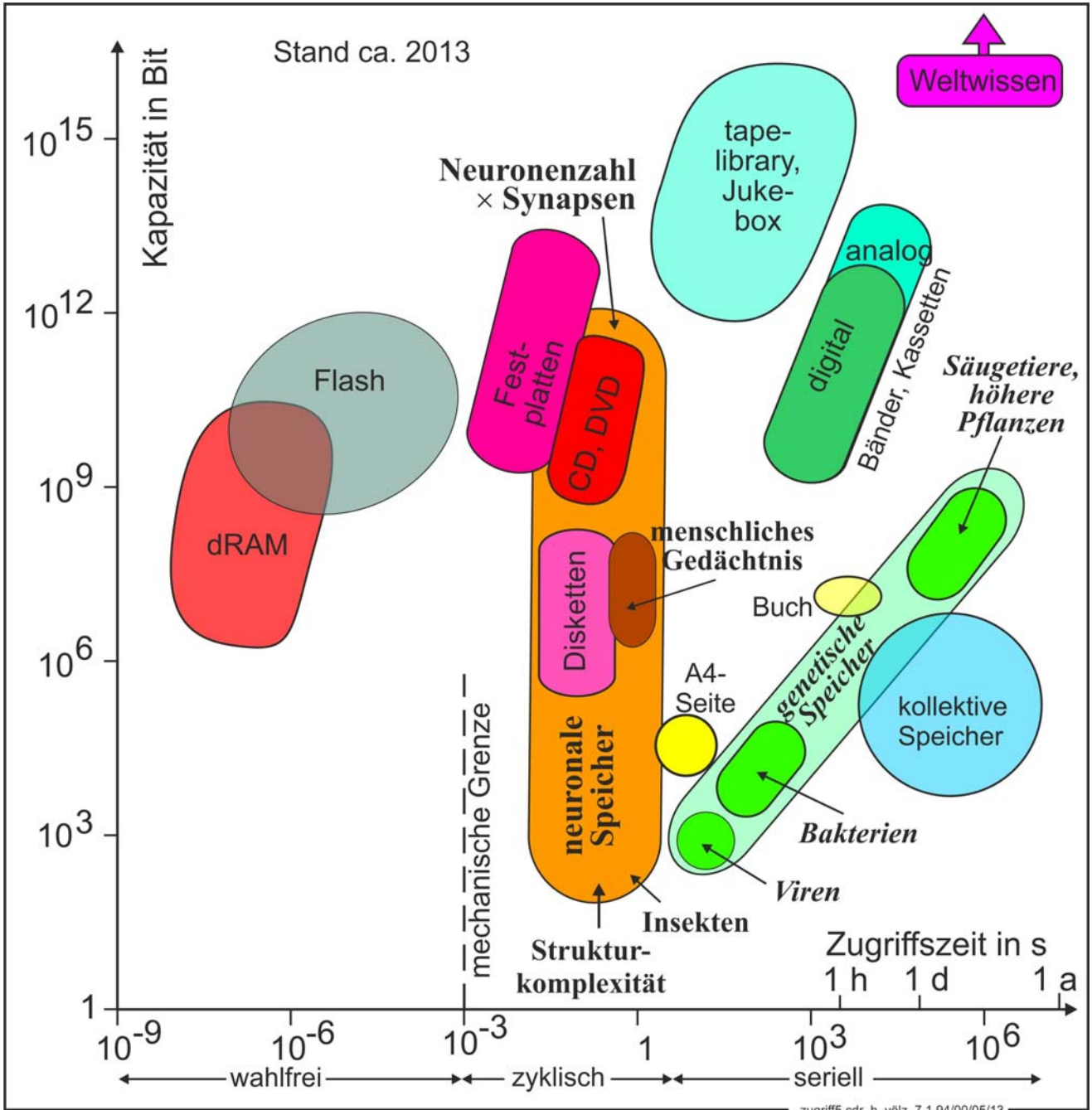
Heute existiert für technische Speicher eine Vielzahl von Kenndaten. Zu Beginn waren es nur zwei, die Speicherkapazität für das maximale Aufnahmevermögen in Bit bzw. Byte und die Zugriffszeit, welche vom Abruf der Daten bis zu ihrer Bereitstellung vergeht. Bereits 1967 konnte ich gemäß **Bild 41a** erstmalig eine Korrelation zwischen beiden Kennwerten nachweisen [Völ67]. Damals wurde aber noch die Kapazität unseres Gedächtnisses stark überschätzt. Jeder technische Speichertyp ist zum jeweiligen Zeitpunkt nur in einem gewissen Bereich leidlich effektiv zu produzieren. Zu dem Bild erschienen später immer wieder und von vielen Autoren entsprechende Diagramme. Um 1970 gewann ich (b), das zwei zusätzliche Aussagen enthält [Völ79]: Erstens gibt es zusammen für alle Speicher eine Obergrenzen für beide Größen. Im Bild sind sie für 1950, 1965 und 1980 eingetragen. Zweitens gibt es typische Grenzen der Zugriffsgeschwindigkeit und zwar elektronisch für Halbleiterspeicher, dann für mechanische Zugriffe und schließlich für Zugriffe durch den Menschen. Ein etwa aktuelles Diagramm für das Jahr 2013 – ergänzt um die kollektiven, neuronalen und genetischen Speicher – zeigt schließlich **Bild 42**.



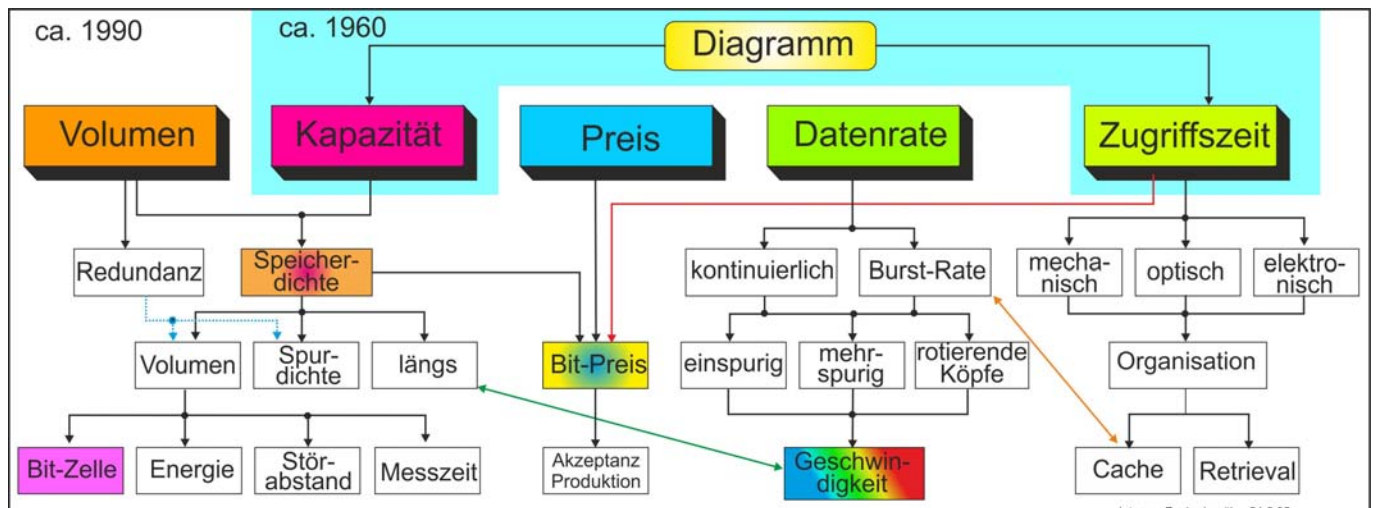
**Bild 41.** Diagramme aus Speicherkapazität und Zugriffszeit. b) Auf die Daten in den beiden oberen Rechtecken wird erst im Abschnitt 3.7.6 ab Seite 52 eingegangen.

Mit der Weiterentwicklung der technischen Speicher wurden immer mehr Kenndaten eingeführt und wichtig. Bereits um 1990 ergab sich dabei entsprechend **Bild 43** eine beachtliche Vielzahl mit ziemlich komplexen Zusammenhängen. Sie vervielfachten sich sogar ständig weiter. Dadurch ist dann heute kein übersichtliches Bild mehr möglich. Lediglich für einzelne Größen wie Kapazität, Preis und Haltbarkeit der Daten lassen sich mit den folgenden Bildern noch Zeitverläufe darstellen.





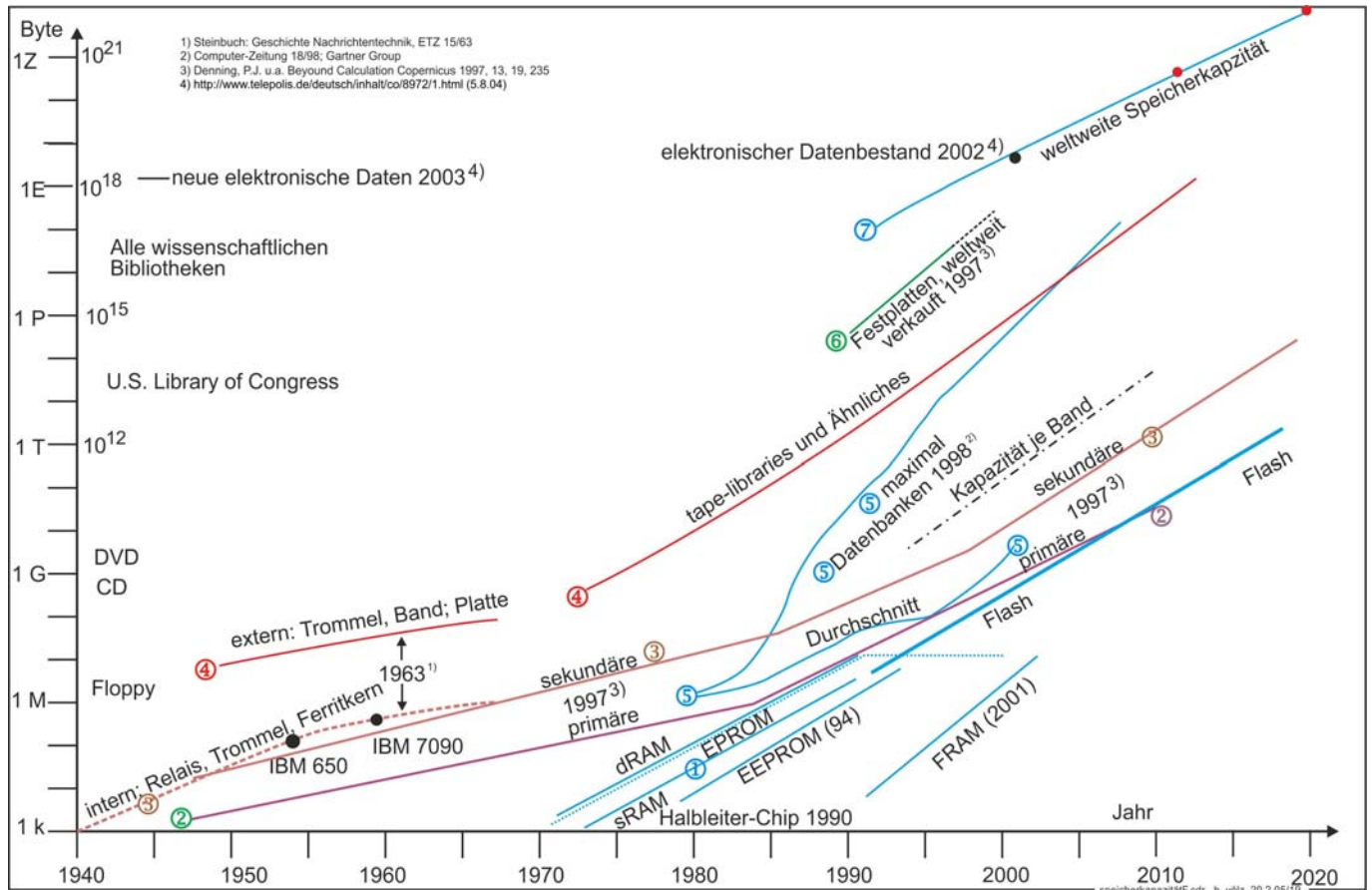
**Bild 42.** Speicherkapazität und Zugriff für alle möglichen Speicher um 2015.



**Bild 43.** Bereits um 1960 existierten viele Kenndaten in komplexen Zusammenhängen.



Für die gewaltige Zunahme der Speicherkapazität gibt **Bild 44** einen leidlichen Überblick bis in die Gegenwart. Hierdurch entstand der Begriff big data. Doch vielfach ist es ungewiss, wie mit dieser Überfülle wirklich Nützliches angefangen werden kann. Insbesondere haben die Geheimdienste oft beachtliche Probleme, darin das jeweils Wichtige zu finden. Zu den einzelnen eingekreisten Zahlen sollen noch einige Ergänzungen gegeben werden. Die ersten vier sind Hauptgruppen der Speicher, die weiteren notwendige Ergänzungen:



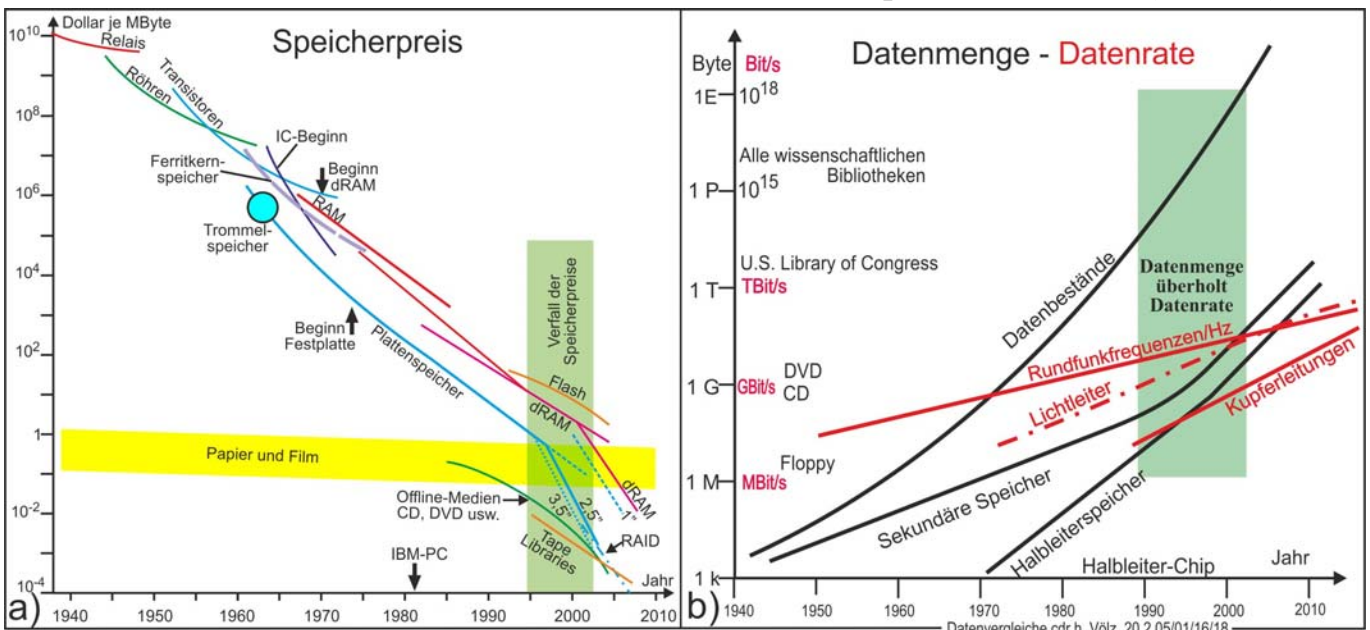
**Bild 44.** Versuch eines langfristigen Überblicks zur Entwicklung der Speicherkapazität.

- ① Die kleinste Kapazität besitzen immer noch die **Halbleiterbausteine**. Sie sind aber erst ab etwa 1975 verfügbar. Neben den dRAM bestimmt heute vor allem der Flash die heutigen Datenspeicher.
- ② Als **primäre Speicher** werden hier die Arbeitsspeicher von Rechnern betrachtet. Eigentlich sind sie erst mit der Entstehung des Heimcomputers (ab ca. 1975) und des Personal-Computers (ab 1981) vorhanden. Diese Entwicklung bewirkt den steileren Anstieg der Kurve um 1985. Doch der Speicherausbau in den Großrechnern verlief vorher ähnlich. Hier wurden dann aber zunächst Elektronenröhren verwendet.
- ③ **Sekundäre** oder früher **interne** Speicher betreffen den gesamten Speicherausbau eines Rechners. Heute sind das vor allem Festplatten. Sie besitzen immer eine deutlich längere Zugriffszeit als die primären Arbeitsspeicher. Genau deshalb sind sie hierfür bereits beachtlich durch Flash ergänzt.
- ④ Für umfangreiche Anwendungen und Backups sind oft wesentlich größere Speichereinrichtungen erforderlich. Sie benötigen einen eigenen Stellplatz oder sogar spezielle Räume. Heute werden dabei überwiegend Datenbanken mit Robotern (**tape-libraries** Magnetbandarchive) angewendet, die dann bei Bedarf die einzelnen Medien aus einem großen Lager entnehmen und dem Speichergerät zuführen. Sie können als Weiterent-

wicklung der ganz frühen externen Speicher von Großrechnern angesehen werden und setzen deren Tendenzkurve ab etwa 1975 fort.

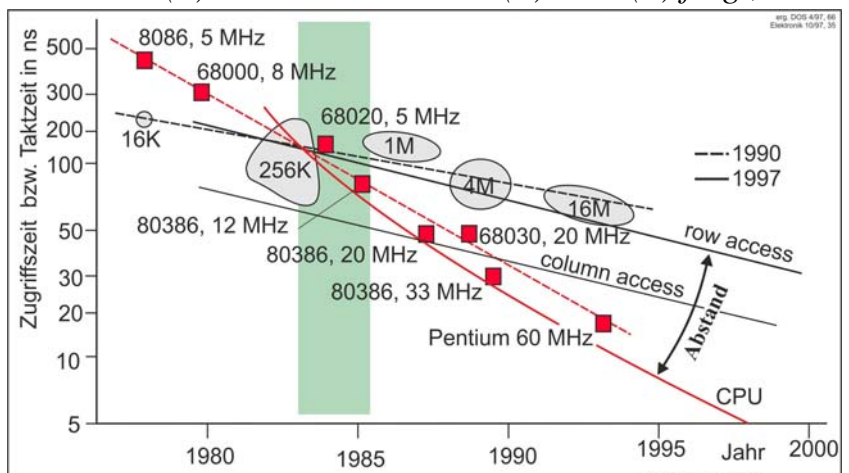
- ⑤ **Datenbanken** erfassen unter einem weitgehend einheitlichen Gesichtspunkt viele Fakten und Dokumente für Recherchen zusammen. Sie sind daher besonders groß. Das Bild enthält je eine Kurve für die die typischen Mittelwerte und für größte Datenbanken.
- ⑥ Aufschlussreich sind auch die weltweit **verkauften Festplatten**, die wohl weitgehend für das Internet eingesetzt werden.
- ⑦ Sie kennzeichnet den aktuell weltweit vorhandenen **elektronischen Datenbestand**. In der letzten Zeit wurde dabei der Bestand auf Papier deutlich überschritten.

Für die Entwicklung des Speicherpreises gilt **Bild 45**. Infolge der unterschiedlichen Währungen und des abnehmenden Geldwertes existiert dabei eine gewisse Unsicherheit. Dennoch ist der stetig sinkende Wert in Dollar/MByte deutlich ausgeprägt. Ein Bruch tritt aber unvermittelt um 1995 ein (a). Bis zu diesem Datum war immer zu wenig Speicherkapazität verfügbar. Danach wurde ziemlich unvermittelt mehr als ausreichend produziert. Kurzfristig stark schwankende Preise und ihr schnelleres Sinken waren die Folge. Doch hiermit fallen zufällig (?) weitere Größen zusammen: Einmal ist es das Zusammentreffen mit dem Papierpreis (grün). Aber auch ab hier nehmen die Datenbestände stärker zu als die -raten (b). Die Konsequenzen sind noch nicht bekannt. Vielleicht besteht eine Analogie zum Umbruch bei den Taktzeiten der CPU zu den Datenraten der Speicher um 1980 (**Bild 46**).

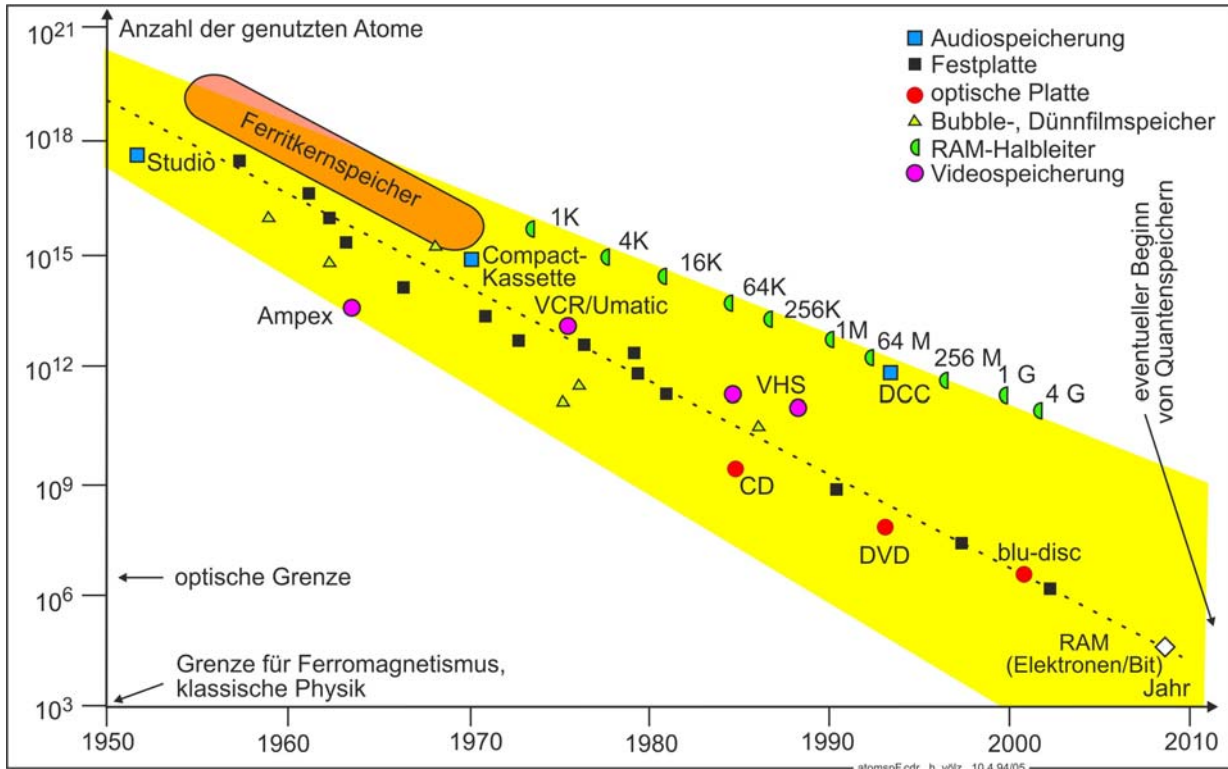


**Bild 45.** Zeitliche Änderung das Byte-Preises (a) und der Datenrate (b). Aus (a) folgt, dass der Bit-Preis bis 1995 logarithmisch gleichbleibend jährlich um 1:0,7, insgesamt also auf 1:10<sup>10</sup> sinkt.

**Bild 46.** Die Taktraten der CPUs überholen die Zugriffszeiten bei den Speichern, siehe dazu auch Abschnitt 3.8.

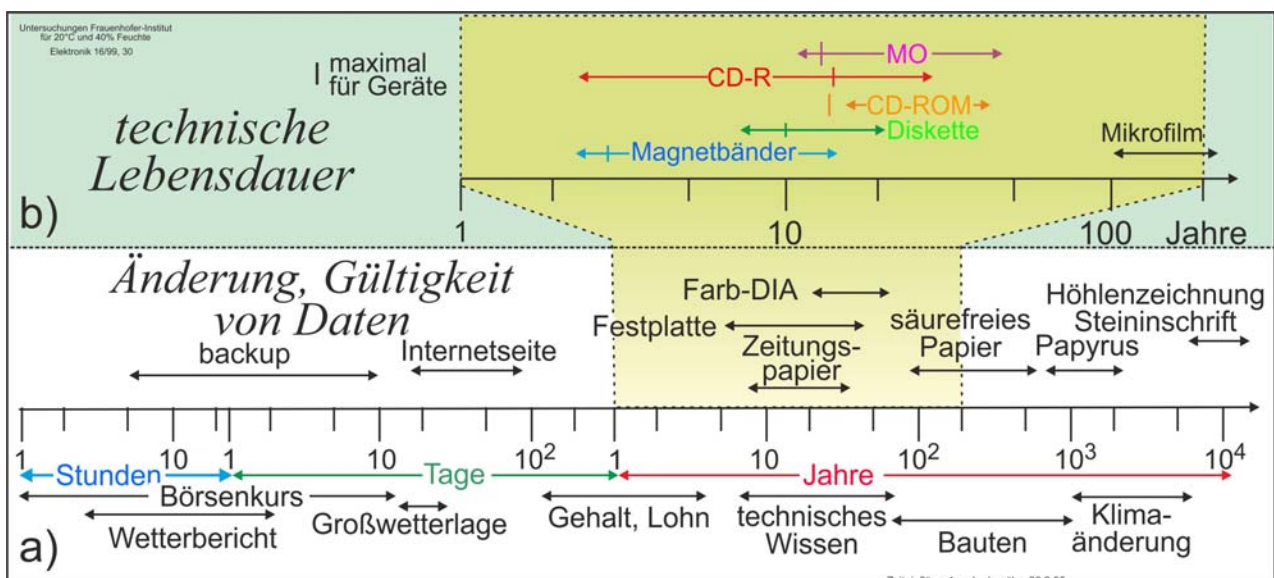


Die mögliche Steigerung der Speicherdichte lässt sich u. a. über die je Bit notwendigen Atome abschätzen. Dazu gibt **Bild 47** einen historischen Überblick. Ob aber jemals Quantenspeicher verwendbar werden ist z.Z. ziemlich ungewiss. Eher wird es wohl möglich sein, die vorhandenen erheblichen Redunzen zu senken (s. nächster Abschnitt).



**Bild 47.** Senkung der notwendigen Anzahl von Atomen je Bit.

Bei der Gültigkeit von Daten sind in **Bild 48** drei Fälle zu unterscheiden. Einmal werden Daten im Laufe der Zeit ungültig und daher durch neue ersetzt (a). Dann altern die Speichermedien und werden dadurch unzuverlässig. In (b) ist der übliche Streubereich in einem etwas gespreizten Zeitraum (gelb unterlegt) ausgewiesen. Verlängerungen der Haltbarkeit sind nur teilweise mittels Fehlerkorrektur möglich. Drittens altern die Geräte und werden durch neue, bessere ersetzt. Die alten werden als „moralisch“ unbrauchbar ausgewechselt. Der dafür relativ enge Zeitraum ist durch „|“ gekennzeichnet.



**Bild 48.** Zeiten für die Gültigkeit von Daten, Speichermedien und -geräten.



### 3.7.6. Volumenredundanz

Im Abschnitt 3.7.2 sind die Minimalwerte einer Speicherzelle bezüglich Energie, Volumen und Zeit bestimmt. Dabei gibt es Unterschiede für die Aufzeichnung, den Speicherzustand und die Wiedergabe. Für fast alle technischen Anwendungen müssen fast immer viele Speicherzellen in einem gemeinsamen Volumen so untergebracht sein, dass sie deutlich gegeneinander abgegrenzt sind. Das geschieht bei der Herstellung des Speichermediums. Zusätzlich müssen sie auch noch für die Aufzeichnung und Wiedergabe einzeln erreichbar sein. Dafür gibt es mehrere Methoden, die unterschiedlich stark die berechnete, nämlich die theoretische Speicherdichte in  $\text{Bit}/\text{m}^3$  reduzieren. Dadurch entsteht eine Volumenredundanz. Hier werden davon nur wenige Fakten behandelt. Umfangreiche Details dazu enthält [Völ07], S. 32ff.

Die **Holografie** (s. S. 40ff.) erfordert infolge der für jedes Bit weit ausgedehnten und sich überlappenden Zonenlinsen sehr spezielle, komplexe Analysen. Da aber so gut wie (noch) keine Anwendung zur Datenspeicherungen existiert, sei hier auf weitere Details verzichtet.

Mit **elektromagnetischer Strahlung** wäre der Einzelzugriff durch das dreidimensionale Brennvolumen möglich. Infolge der davor und danach auftretenden Strahlaufweitung könnte bei geeignetem Zellmaterial die Strahlungsenergie und die Absorption dort so gering gehalten werden, dass bei der Aufzeichnung keine Nachbarzellen verändert werden und sie bei der Wiedergabe nur unwesentlich zum Signal beitragen. So entstünde keine Raumredundanz. Bisher sind hierfür aber keine realisierten Anwendungen bekannt.

Bei räumlich angeordneten **elektronischen Speichern** müsste zwischen den einzelnen Zellen soviel dreidimensionaler Freiraum eingefügt sein, dass in ihm alle notwendigen Zuleitungen komplex verschachtelt eingefügt werden können, was technologisch recht schwierig ist. Daher ist diese Variante nur in Einzelfällen mit übereinander angeordneten Speicherschichten realisiert worden. Die nutzbare Speicherdichte sinkt dabei erheblich unter den theoretisch möglichen Wert.

Bei fast allen **realisierten Speichern** werden daher die Speicherzellen auf einer einzigen **Oberfläche** angeordnet. Bei den elektronischen Speichern ist es die Wafer-Oberfläche, beim Magnetband und der Festplatte die auf einem Trägermaterial aufgebrachte Magnetschicht. Dabei bestimmt aber das Dickenverhältnis von Unterlage zur Speicherschicht nur primär die Redundanz. Für die zusätzlich im Betrieb auftretenden höheren Redundanzen sind jedoch getrennte Betrachtungen für elektronische und andere Speicher erforderlich.

Bei **Elektronik** muss der fertig strukturierte Speicherchip geschützt in ein deutlich größeres Gehäuse eingefügt werden. Dann kommt er mit weiteren Chips auf eine Leiterplatte, von der mehrere in ein Gehäuse eingebaut werden. Insgesamt entstehen so viele „Leerräume“ und die gesamte Redundanz vom Gehäusevolumen zu den vorhandenen Speicherschichten beträgt dann mehrere Tausend. Entsprechend der Tabelle tritt ein nur kleiner Teil davon bereits die Flächen- und Leistungsanteile eines typischen Chips der 1980er. Inzwischen ist der Flächenanteil für die Speicher noch erheblich kleiner und der Leitungsverbrauch deutlich größer geworden.

Bei allen Speichermedien mit **mechanischer Bewegung** entstanden nacheinander

|                  | Fläche | Leistung |
|------------------|--------|----------|
| Speichermatrizen | 50     | 4        |
| Dekoder          | 15     | 4        |
| Taktgeneratoren  | 10     | 60       |
| Leseverstärker   | 7      | 25       |
| Sonstiges        | 10     | 7        |
| Freifläche       | 8      | 0        |



drei Formen mit deutlich geringerer werdender Redundanz: Trommeln, Platten und Bänder. Bei rein mechanischen Speicherzellen mit Stiften bzw. Löchern gilt: *Stiftwalze* → *Lochplatte* → *Notenrolle*, für die mechanische Schallaufzeichnung: *Edison-Walze* → *Schallplatte* → *Ton-* bzw. *Schallfilm (Tefifon)* und schließlich bei den magnetischen Medien: *Trommelspeicher* → *Plattenspeicher, Diskette und Festplatte* → *Ton- und Datenband*. Anschaulich scheint das Verhältnis von der Oberfläche  $O$  zum Volumen  $V$  wesentlich zu sein. Jedoch die Berechnungen ergeben unerwartete Verhältnisse, die dadurch noch weniger verständlich werden, weil dabei die technische Komplexität und der Zugriff der Reihe nach deutlich zunehmen.

|                       | Zylinder                          | Platte  | Band  |
|-----------------------|-----------------------------------|---|---|
| Volumen (ohne Archiv) | $V = \pi \cdot r^2 \cdot l$       | $V = \pi \cdot r_a^2 \cdot d$   | $V = \pi \cdot r_a^2 \cdot b$                     |
| Oberfläche            | $O = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l$ | $O = \pi \cdot (r_a^2 - r_i^2)$   | $O = \frac{\pi \cdot b}{d} \cdot (r_a^2 - r_i^2)$ |
| Oberfläche/Volumen    | $\frac{O}{V} = \frac{2}{r}$       | $\frac{O}{V} = \frac{1}{d} \cdot \left(1 - \left(r_i / r_a\right)^2\right) \approx \frac{0,9}{d}$ |   |

Darin bedeuten: Beim Zylinder  $r$  seinen Radius und  $l$  seine Länge; bei der Platte  $r_a$  den äußeren und  $r_i$  den inneren nutzbaren Radius; beim Band  $b$  die Breite,  $r_a$  den maximalen Wickelradius und  $r_i$  den Radius des Wickelkörpers. Für Platte und Band sind  $r_i \approx 0,3 \cdot r_a$  üblich, somit  $(r_i/r_a)^2 \approx 0,1$  mit  $O/V \approx 0,9/d$ . Platte und Band besitzen rechnerisch den gleichen  $O/V$ -Wert. Der Vorteil von Bandspeichern folgt jedoch aus zwei anderen Gegebenheiten: Während für die Platte eine hohe mechanische Stabilität und damit eine Dicke im mm-Bereich notwendig ist, wird für das Band eine hohe Flexibilität zum Anschmiegen an den Kopf, folglich eine Dicke im  $\mu\text{m}$ -Bereich verlangt. Außerdem liegt zumindest bei der magnetischen Festplatte zusammen mit dem Speichergerät ein komplexer Gesamtaufbau vor. Dagegen ist jedes Band ein Offline-Medium, das unabhängig vom Speichergerät archiviert werden kann. Aus beiden Fakten ergibt sich so schließlich für Bandspeicher immer eine deutlich geringere Redundanz als für Plattenspeicher.

Weitere Redundanzen entstehen mit den vollständigen Geräten. Dabei sind deutlich drei Klassen zu unterscheiden: Die **Handgeräte** mit einem Volumen um  $1 \text{ dm}^3$ . Sie müssen mindestens so groß sein, dass eine Bedienung möglich ist und andererseits so klein, dass sie mühelos transportiert (eingesteckt) werden können. Auf die Speicherschicht bezogen besteht bei ihnen eine Redundanz von etwa  $10^4$  bis  $10^6$ . Die **Standgeräte** besitzen ein Volumen bis zu etwa  $1 \text{ m}^3$ . Ihr Leiterplattenaufbau verlangt intern bereits deutlich mehr Redundanz. Außerdem muss meist für eine Lüftung zur Wärmeabfuhr gesorgt werden. Ferner benötigen sie Freiflächen zur Bedienung, Pflege, Reparatur usw. So ergibt sich eine Redundanz von  $10^6$  bis  $10^8$ . Viele Standgeräte müssen schließlich in **Gebäuden** untergebracht werden. In ihnen sind dann auch Versorgungs- und Klimaanlage, Nebenräume, Wege, und (Frei-) Räume für die Pflege, Reparatur usw. notwendig. So sind selbst in großen Gebäuden kaum mehr als zehntausend Standgeräte unterzubringen. Für die Speicherung erfolgt daraus maximal ein „nutzbares“ Volumen von rund  $1 \text{ m}^3$ . Das entspricht einer Redundanz von etwa  $10^{15}$ . Werden für die Menschheit maximal etwa tausend solcher Gebäude für die Speicherung angenommen und auf das im Abschnitt 3.7.2 bezogene theoretische Minimalvolumen von  $(500 \text{ nm})^3$  je Bit vorausgesetzt, so dürften sich weltweit maximal etwa  $10^{25}$  Bit Speicherkapazität ergeben. Das ist grob das Tausendfache der

gerade erreichten Speichermenge (vgl. Bild 44). Einstweilen sind noch beachtliche Ressourcen vorhanden.

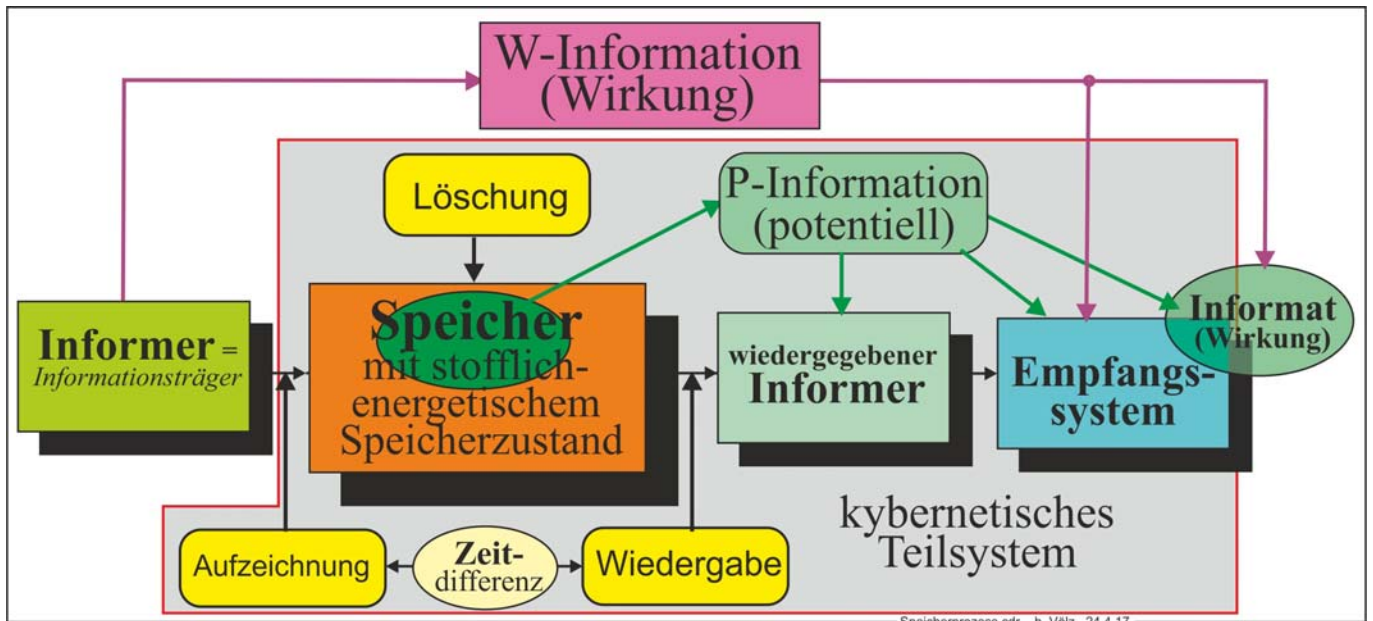
### 3.7.7. Inhaltliche Grenzen und spezielle Speichervarianten

Den Zeichen haftet meist eine gewisse Unsicherheit, Unschärfe an, die u. a. von der dazugehörigen Klassenbildung herrührt. Sie kann außerdem noch bei der technischen Speicherung durch den zweifachen Verweis zwischen den Objekten bzw. Gedanken und dem Zeichen (s. Bild 24, S. 32) vergrößert werden. Das sei am Beispiel einer Schallaufzeichnung gemäß **Bild 49** behandelt. Das originale, subjektive Erlebnis der „Aufführung“ unterscheidet sich deutlich von der auf das rein Akustische eingeschränkten Wiedergabe. U. a. fehlen das Erleben der Künstlerpersönlichkeit (z. B. seines Charismas) und des Dabeiseins, einschließlich einzelner Reaktionen der anderen Zuhörer. Aber auch das reine Hörerlebnis weicht deutlich vom Originalen ab. So fehlt bei der Wiedergabe der Speicherung zumindest der wirklich erlebte Raumeindruck, einschließlich des typischen Klangs vom Raum. Denn selbst mit vielen Kanälen und Lautsprechern wird – abgesehen von den technischen Grenzen jeder Übertragung – bestenfalls nur ein ähnliches 3D-Schallfeld erzeugt. Schließlich überlagert auch immer der eigene Wiedergaberaum seine spezifische Raumakustik. Recht ähnlich ist es auch bei jeder noch so guten Photographie. Sie zeigt kein detailgetreues Abbild des Originals. Bestenfalls existiert ein zeitlicher und auf zwei Raumdimensionen begrenzter Ausschnitt der Wirklichkeit. Auch ein Stereobild oder die Holografie vermögen nur wenig mehr. Deshalb werden grundsätzlich bei fast jeder Speicherung zumindest das Datum, die Aufnahmezeit und der Ort extra hinzugefügt (vgl. S. 33).



**Bild 49.** Beispiel einer akustischen Aufzeichnung und Wiedergabe.

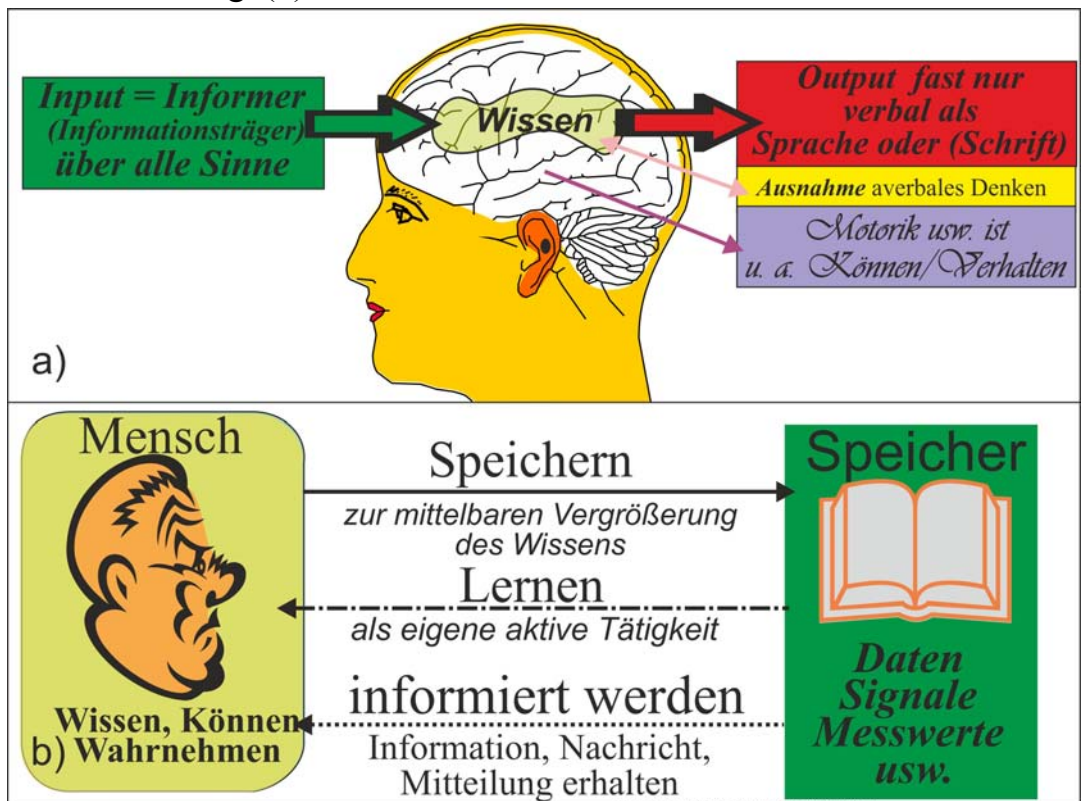
Viele technische Speicherungen haben ihre Anwendung in der Informationstechnik und bestimmen dann die P-Information (von potentiell). Dabei ist der Speicherzustand der Informer (gebräuchlicher, aber sprachlich falsch ist *Informationsträger*), welcher dann als wiedergegebener Informer im Empfangssystem und/oder dessen Umgebung die beabsichtigte Wirkung, das Informat auslöst (**Bild 50**). Wirkt jedoch der Informer unmittelbar auf das Empfangssystem (= Informationssystem) ein, so existiert der allgemeine Informationsprozess als W-Information (Wirkung) bestehend aus Informer, Informationssystem und Informat. Statt dieses dreistufigen Zusammenhangs ist es durchaus üblich, jedoch erheblich vereinfachend, ja verkürzend den Informer (Träger) auch als Information zu bezeichnen. Werden in den Prozess noch zusätzlich auf etwas verweisende Zeichen eingefügt (vgl. Bild 24, S. 36), dann liegt Z-Information vor. Dabei kann ebenfalls die Speicherung entfallen. Weitere ausführliche Details s. [Völ17].



**Bild 50.** Zusammenhänge bezüglich Speicherung und P-Information.

Die verkürzte Benutzung von Information wird besonders häufig im Kontext mit **Wissen** benutzt, ist aber davon deutlich zu unterscheiden. Es existiert nur, wie es **Bild 51** zeigt, in unserem Bewusstsein. Sie ist dann der Input als Informer, der auf unsere Sinne einwirkt. Vorhandenes Wissen kann zusätzlich als Informer auf Speicher ausgelagert werden und erhöht so indirekt seinen Umfang (b). Daraus kann dann für andere Menschen mittels

Lernen wieder Wissen erlangt werden. Außerdem ist es mit Medien, von Daten, Messungen usw. übermittelbar.

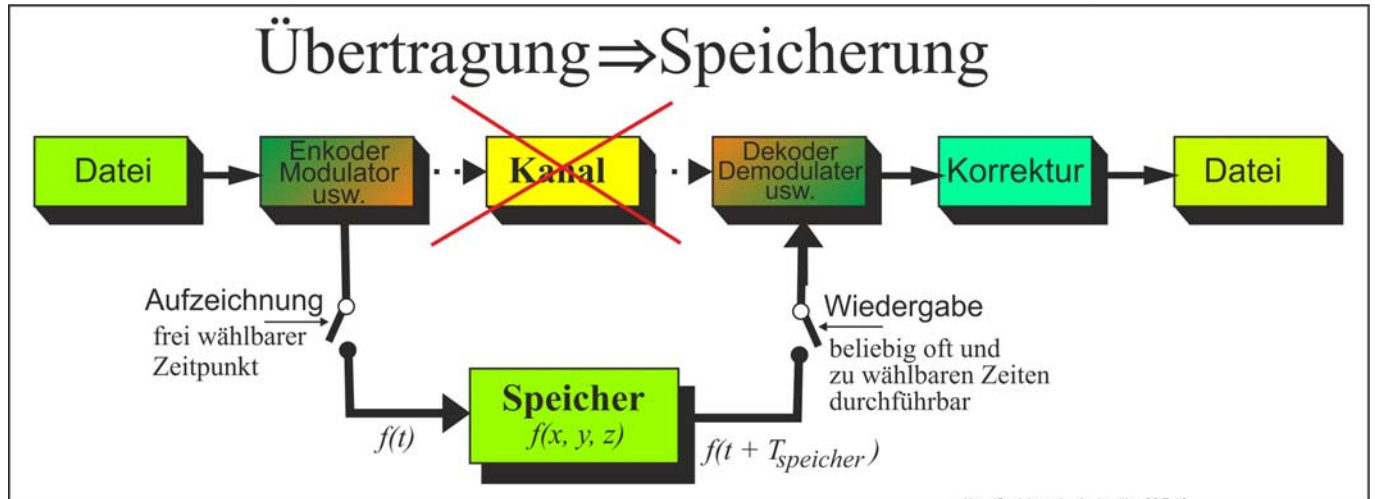


**Bild 51.** Wissen gibt es nur im Bewusstsein (a) und kann über Speicher usw. indirekt erweitert werden (b).

Die Medien sind hauptsächlich eine Folge der umfangreichen technischen Speicher. Anfangs gab es dafür nur Speicher, wie Buch, Schallplatte, Film, Zeitung und Zeitschrift. Später kamen Rundfunk und Fernsehen hinzu, die aber eigentlich keine Speicher sind, wenngleich sie diese auch massenweise benutzen. Das legt die eine Vermittlung zwischen den beiden Bereichen nahe und führt dabei zum **Bild 52**. Dabei entspricht die Speicherung einer unterbrochenen und später fortgesetzten Übertragung. Allerdings wird für sie die

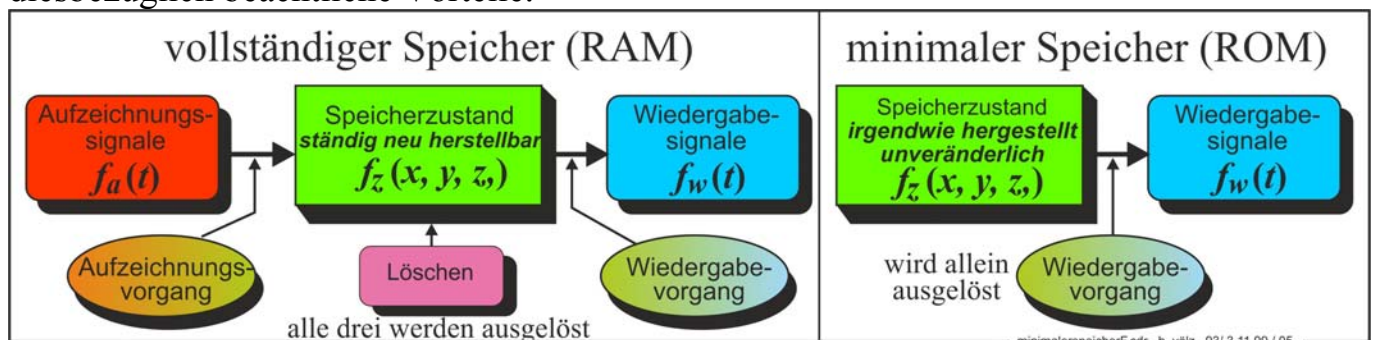


Fehlerkorrektur beim Speicher seltener und dann mit deutlich weniger Komplexität eingesetzt.



**Bild 52.** Speicherung als eine zeitweilig unterbrochene Übertragung.

Die Unterbrechung der Übertragung durch einen Speicher leitet unmittelbar zum ROM (read only memory) von Bild 25, S. 33 über. Dabei ist es sinnvoll, von einem minimalen Speicher zu sprechen, dem Aufzeichnungs- und Löschvorgang fehlen. So ergibt sich die Gegenüberstellung von **Bild 53**. Beim ROM wird dabei der Speicherzustand, die Belegung der Speicherzellen vorwiegend bei seiner Produktion erzeugt und kann ohne Zerstörung meist nicht gelöscht werden. Wichtige Beispiele sind vor allem Drucke jeglicher Art, wie Bücher, Zeitungen und Bilder, aber auch Mikrofiche, Kopien und somit Doppelungen vom Speicherzustand und viele Massenmedien. Bei ihnen allen kann unter „normalen“ Bedingungen das in ihnen Gespeicherte kaum verloren gehen. Sie sind folglich für Archive besonders geeignet. Da beim vollständigen Speicher meist viel Energie für seine typische Anwendung benötigt wird (s. **Bild 54** nächste Seite), besitzt der minimale Speicher auch diesbezüglich beachtliche Vorteile.

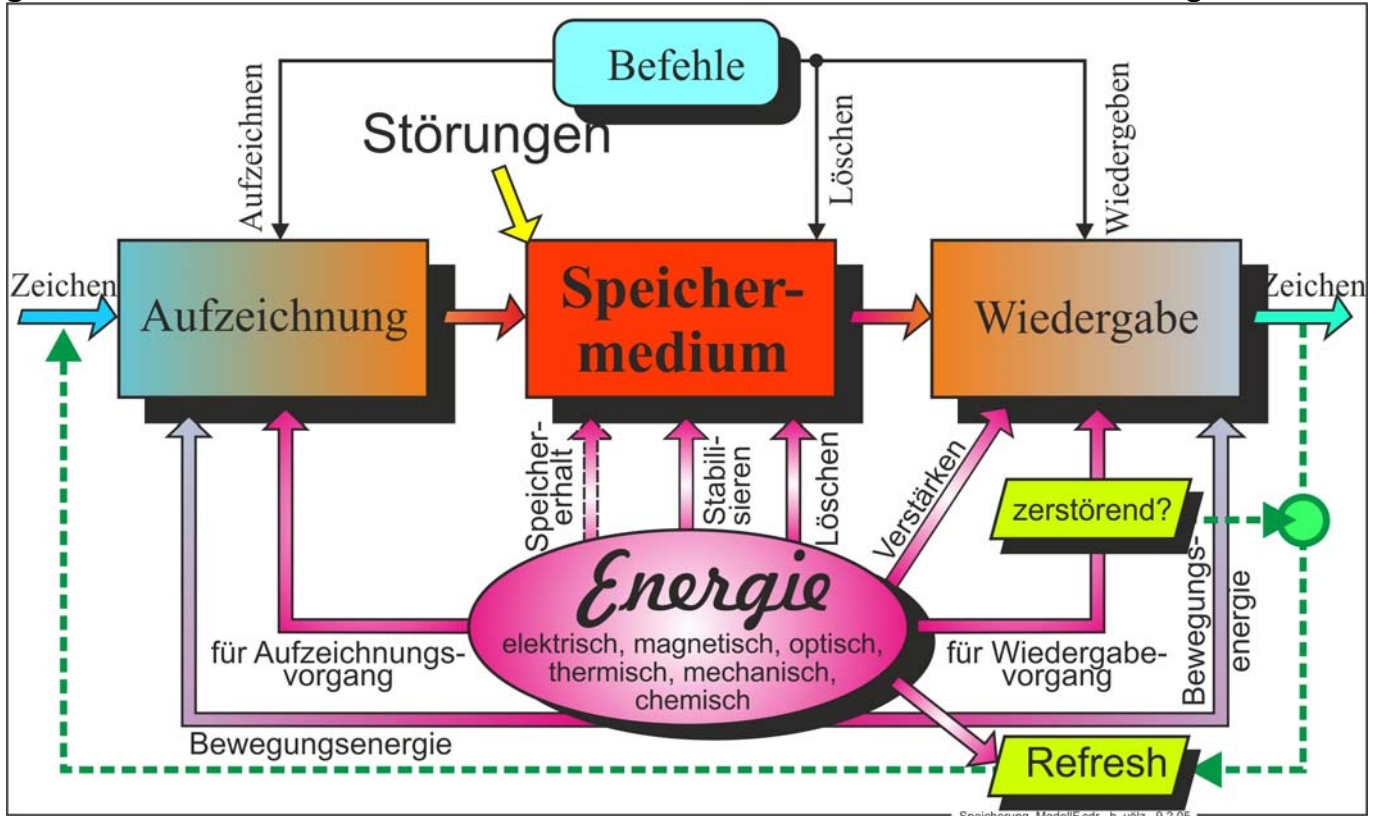


**Bild 53.** Unterschied von RAM und ROM.

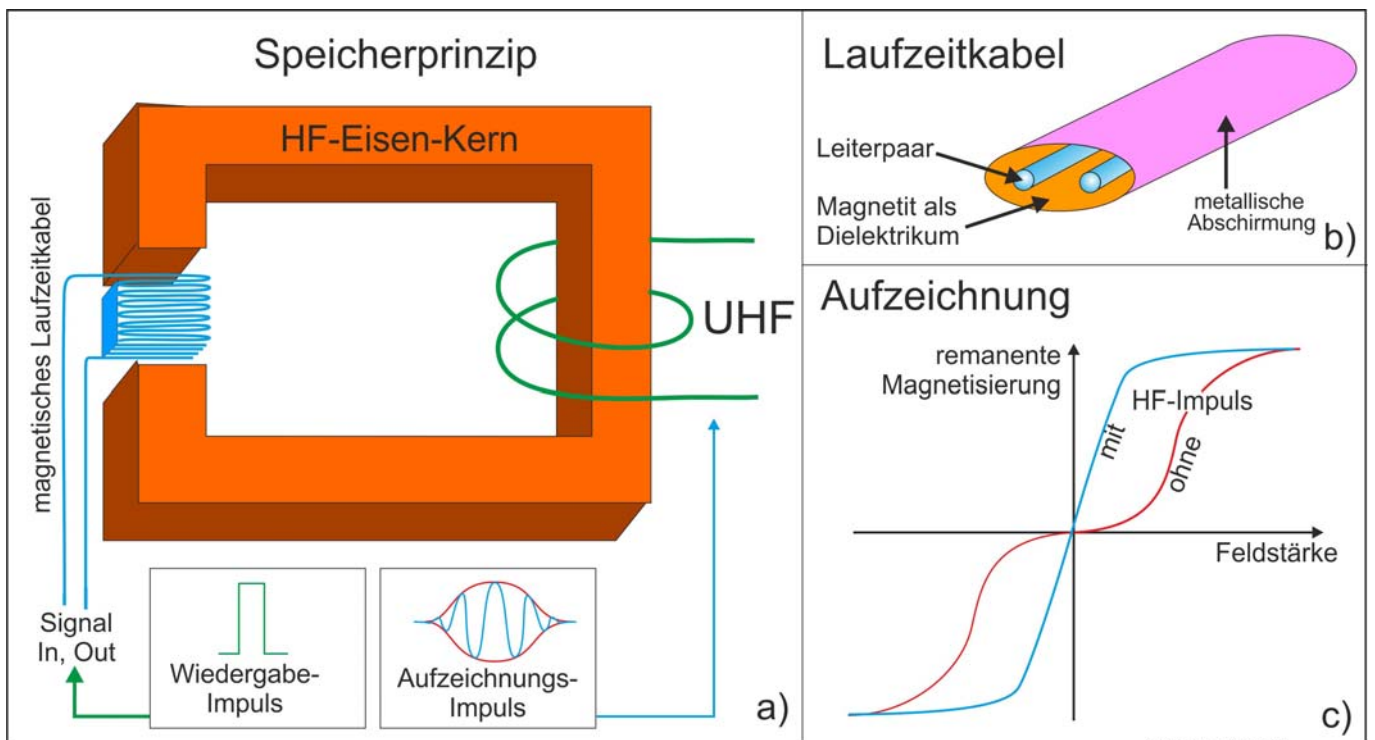
Von der Vielzahl weiterer Speicher werden hier demonstrativ nur wenige kurz beschrieben. Recht speziell sind die Laufzeitspeicher, in denen sich das Gespeicherte ständig bewegt. Sie entstanden nacheinander auf stark wechselnder Grundlage. In den 1940er Jahren wurden sie mittels von Schallausbreitung im Quecksilber realisiert. Auf ihre besondere Anwendung für unser Gedächtnis und die Wahrnehmung von Zeit ist bereits mit Bild 19 auf S. 22 hingewiesen. Als alle verfügbaren technischen Speicher zu langsam waren und zu wenig Speicherkapazität bereitstellten, versuchte ich mit dem Kabelwerk Oberspreewald, allerdings mit nur wenig erfolgreichen Mustern, einen Laufzeit-Kabel-Speicher zu entwickeln [Völ65]. Dabei wurde das Laufzeitkabel mit der Hochfrequenz-Vormagnetisie-



zung der Magnetbandspeicherung verknüpft (**Bild 55**). Wenn das aufzuzeichnende Signal vollständig im das Kabel gelangt ist, dann bewirkt der kurze HF-Impuls (c) in der Magnetit-Füllung des Wellenleiters seine Speicherung. Später kann es mit einem Rechteckimpuls am Eingang des Kabels wieder am Ausgang zurück erhalten werden. In den 1970er Jahren wurden Laufzeitspeicher auf elektronischer Basis der CCD (charge coupled device) eingeführt. Z. T. werden sie heute noch bei den Fotosensoren der Bildaufzeichnung benutzt.

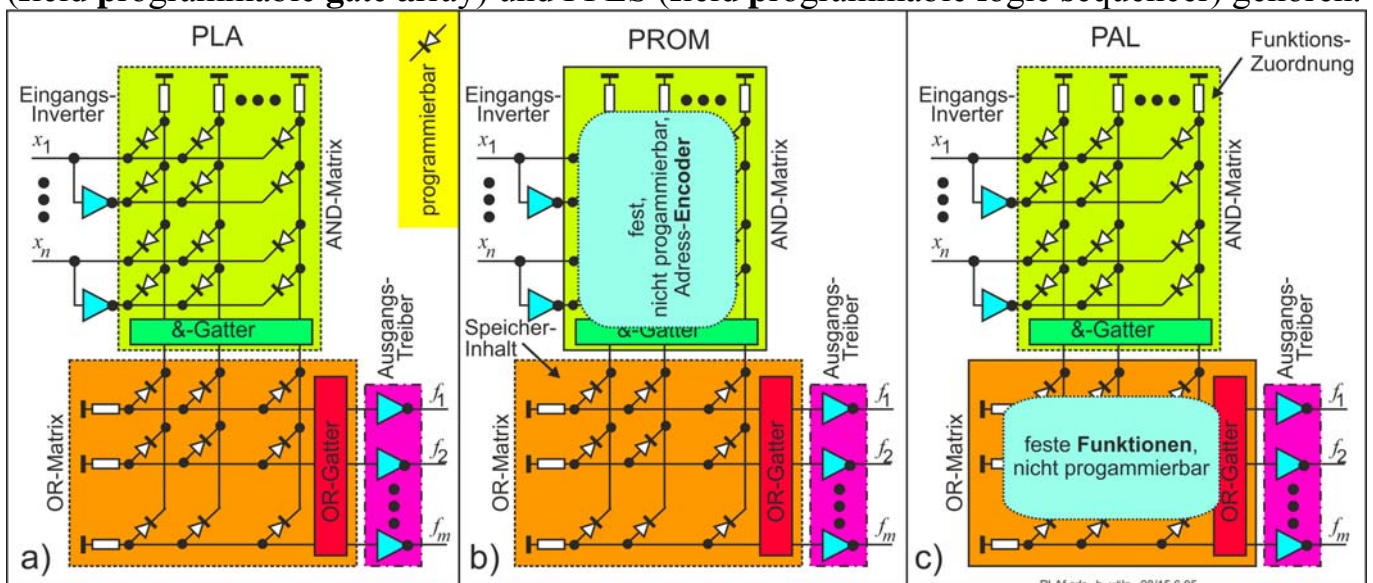


**Bild 54.** Die vollständige Speicherung benötigt beachtliche viele Energiequellen.



**Bild 55.** Prinzip des Laufzeit-Kabel-Speichers.

Bei allen bisherigen Beispielen wurden immer Inhalte zur späteren Wiederverwendung gespeichert. Es gibt aber auch Speicherungen, die Eigenschaften bzw. Funktionen von Schaltungen mittels Programmierung festlegen, nur mittelbar speichern. Typisch sind dafür die drei **PLD** (programmable logic device), vom Beispiel in **Bild 56**, die sich aus einer Reihenschaltung von AND- (&) OR-Matrizen ableiten. Ihre Programmierungen erfolgen durch vorhandene oder fehlende Dioden. Beim **PLA** (programmable logic array) sind beide Matrizen programmierbar. So lassen sich von den Eingangsgrößen  $x_i$  alle möglichen logischen Kombinationen zu den Ausgängen  $f_i$  erzeugen. Beim **PROM** (programmable ROM) ersetzt die unveränderliche AND-Matrix den üblichen Adress-Encoder für die sich anschließende Speichermatrix mit den  $f_m$  zu speichernden Werten. Beim **PAL** (programmable array logic) stehen die verfügbaren Ausgangssignale  $f_i$  fest und werden durch programmierbare Eingangssignale ausgegeben. Allgemeiner aufgebaut sind **ASIC** (application specific integrated circuit; anwenderbezogene Schaltkreise), zu denen u. a. **FPGA** (field programmable gate array) und **FPLS** (field programmable logic sequencer) gehören.



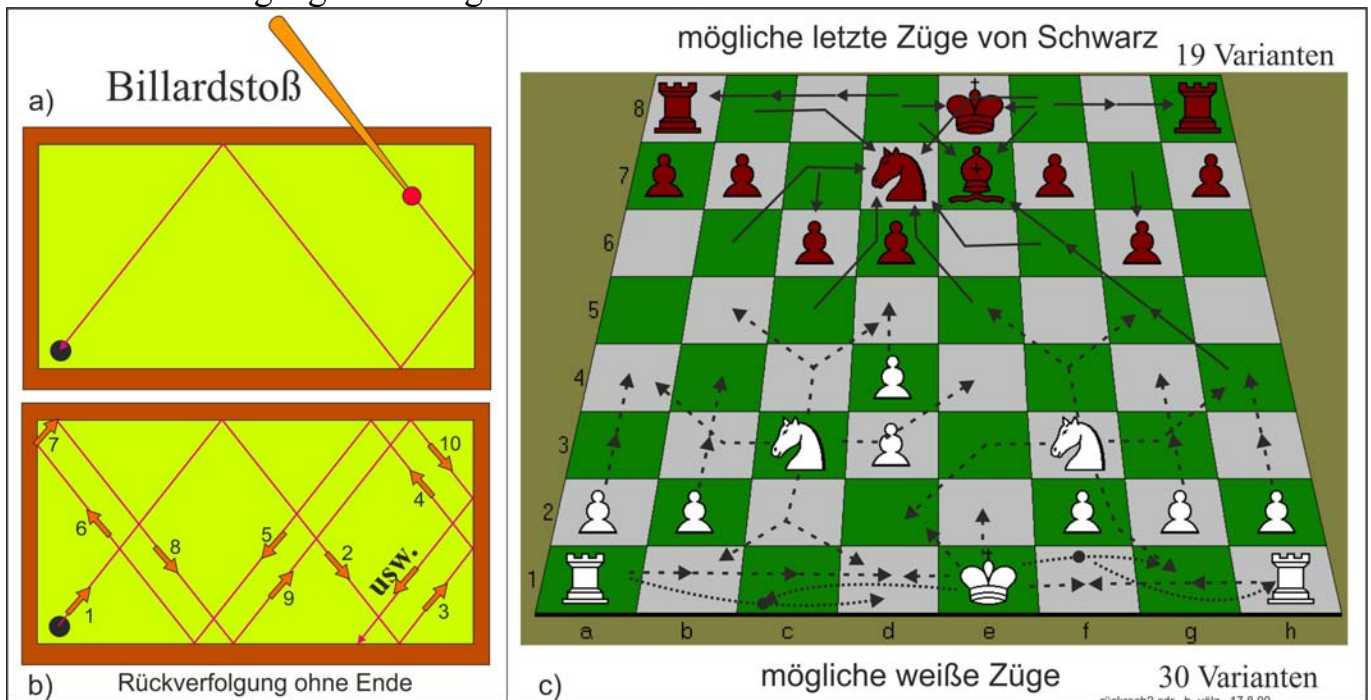
**Bild 56.** Drei Beispiele für programmierbare Schaltungen.

Unter sehr speziellen Bedingungen kann eine Speicherung auch indirekt ersetzt werden. Das ist z. B. bei zwei **nahezu identischen Objekten** möglich, wie etwa Elektronen oder Atomen, die sich ja nur gleichartig diskret ändern können. Als Verweis auf die Vergangenheit ist dann lediglich der Zustand von einem irgendwie festzuhalten, etwa einzufrieren.

### 3.7.8. Rückrechnung und Prognose

Hier sei noch einmal betont, dass wir nur über Speichern etwas von der **Vergangenheit** wissen (s. Kontext zur Zeitmessung auf S. 5). Deshalb muss die Kriminalistik ungewollt zurück gebliebene, gespeicherte Spuren als Beweismittel nutzen. Auch für die Archäologie sind sie der entscheidende Nachweis für Vergangenes. Ganz ähnlich sind die Reststrahlung und die Materiewellen wesentliche Beweise für die Urknalltheorie. Wie die Tabellen auf Seite 8 zeigen, können dafür auch mathematische Zusammenhänge sehr nützlich sein. Doch dabei besteht ein wesentlicher Unterschied: Denn die Wissenschaft hat zwar umfangreiche, wenn auch nicht immer völlig erfolgreiche Methoden (s. u.) zur Bestimmung der Zukunft aus der Gegenwart entwickelt. Dadurch können wir auch sicherer und besser leben. Jedoch für die Vergangenheit ist eine ähnliche Rückrechnung kaum ähnlich nützlich

und darüber hinaus sogar oft unmöglich. Das sei an den zwei Beispielen von **Bild 57** demonstriert. Beim Billard sind aus der Geschwindigkeit und Richtung kurz vor dem Erreichen des Lochs mittels einer Rückrechnung weder der Ort noch die Zeit für den ursprünglichen Stoß zu ermitteln. Selbst unter Beachtung der Reibungs- und Stoßverluste würde sich der Weg nahezu bis ins Unendliche fortsetzen (b). Für eine Stellung im Schachspiel (c) können wir einigermaßen gut den nächsten Zug voraussehen, aber nur dann, wenn wir wissen, wer gerade am Zug ist. Aus der aktuellen Stellung ist das aber oft nicht eindeutig abzuleiten. Noch weniger zu bestimmen ist, welches der letzte Zug war. Das scheint zwar ein Widerspruch zu den Gesetzen der Physik zu sein, wonach alle auch rückwärts ( $t \rightarrow -t$ ) unverändert gelten. Auch aus dieser Sicht sind formal berechnete Zeitreisen in die Vergangenheit ungewiss.



**Bild 57.** Zwei Beispiele zu den Schwierigkeiten einer Rückrechnung.

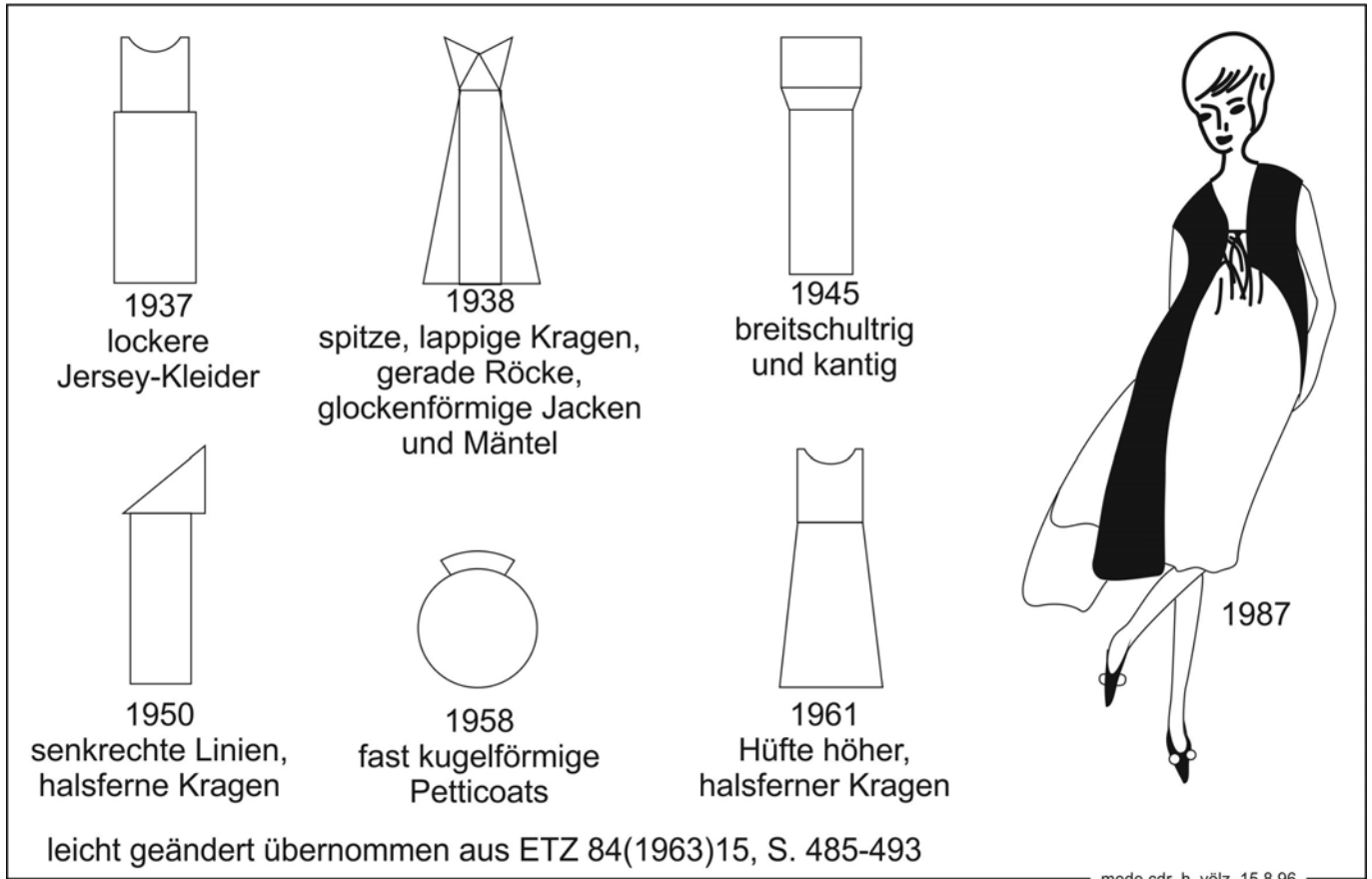
In diesem Kontext ist auch eine science fiction story von Asimov bedeutsam [Asi56]. Als Gerät zum Rückblick wird das Chronoskop erfunden. Mit ihm kann Alles in der Vergangenheit frei wählbar seh- und hörbar gemacht werden. Dann zeigt Asimov auf sehr wirk-same und spannende Weise, welche gewaltigen Folgen sich daraus ergeben: Es könnten alle Verschwörungen und Lügen, sogar besondere politischen Zweckklügen aufgedeckt werden. Sogar alle „Verschwörungstheorien“ sind eindeutig entscheidbar. Deshalb müssen in der Story alle Forschungen und Anwendungen des Chronoskops verboten werden. Was jedoch die Freiheit der Forschung total aufhebt. Als letzte Begründung für dieses ungeheuerliche Verbot dient schließlich, dass damit auch ein beliebiges Beobachten der Privat- und Intimsphäre möglich wäre. Es zwar gut, dass die Speicherung die einzige Möglichkeit für Auskünfte über die Vergangenheit ist. Es ist aber auch gut, dass sie niemals total ist, sondern immer nur Teile der Vergangenheit enthalten kann.

Um auch auf die mögliche Unsicherheit der Zukunft hinzuweisen, folgen zwei Bei-spiele. Ein Musterbeispiel hat Steinbuch benannt [Sze63]. Danach publizierte eine deut-sche Illustrierte im Jahre 1962 unter der Überschrift „Robotor-Mode Anno 1987“ einen Bericht mit Bild (hier **Bild 58**), zu dem das Folgende behauptet wurde:



„... haben Modesachverständige der amerikanischen Zeitschrift *Look* eine UNIVAC-Rechenanlage im Forschungszentrum von Remington-Rand beauftragt, die Damenmode des Jahres 1987 vorauszuberechnen. ... In genau 40 Minuten spie UNIVAC das Ergebnis aus – eine genaue Vorhersage über die Damenmode des Jahres 1987“

Aber vielleicht war das auch nur ein recht früher fake!



**Bild 58.** Die Prognose der Mode für das Jahr 1987,

Das zweite Beispiel betrifft die Geschichte der Speicherung. Zunächst sei dazu ein grober Überblick mit der rechts stehenden Tabelle gegeben. Auffällig ist dabei, dass sich die Abstände zum jeweils nächsten Ergebnis fortlaufend verkürzen. Das zeigt sich auch in der zweiten Tabelle bei den technischen Methoden. Hier sind aber die Zeiten zwischen der Entdeckung ihres Effektes und seiner Anwendung wesentlich. Aus ganz ähnlichen Beispiele folgerte Robert Rompe im jährlich stattfindenden Festvortrag des Leibniztages der Akademie der Wissenschaften um 1980, dass die „ständige“ Zeitverkürzung sehr bald dazu führen müsse, dass sie zu Null werde. Wie viele andere Fälle zeigen, war das natürlich ein Fehlschluss. Das demonstriert auch die letzte, immer noch geltende Zeile. In der Diskussion antwortete Jürgen Kuczynski in der für ihn typischen Weise: „Lieber Herr Kollege Rompe

...

| Ereignis                           | vor Mill. Jahre |
|------------------------------------|-----------------|
| Urknall                            | 16 000          |
| Sonnensystem mit Erde entsteht     | 4 600           |
| älteste Lebewesen (Einzeller) Erde | 3 500           |
| Organismen mit Photosynthese       | 3 200           |
| Cyanobakterien                     | 2 500           |
| Sauerstoffatmosphäre entsteht      | 2 000           |
| Eukaryotische Einzeller (Zellkern) | 1 500           |
| Vielzeller                         | 1 200           |
| Landpflanzen                       | 800             |
| Außenskelett, Insekten             | 600             |
| Ozonschutzschicht vorhanden        | 500             |
| Blut bei frühen Wirbellosen        | 400             |
| Wirbeltiere                        | 300             |
| Säugetiere, Vögel                  | 200             |
| Affen                              | 50              |
| Mensch                             | 2               |



wir stimmen im Prinzip überein, aber wir streiten noch darüber, ob Archimedes, als er mit „Heurika“ aus dem Bad stieg und zum Experiment mit der Krone sehr schnell nach Hause lief, sich erst noch abtrocknete oder nicht!

| Jahr (ca.) | Techniken               | Abstand (Jahre) |
|------------|-------------------------|-----------------|
| -2 000 000 | Mensch                  | ohne Bezug      |
| -300 000   | Werkzeuggebrauch        | 1 700 000       |
| -35 000    | Felsbilder              | 300 000         |
| -5 000     | Schrift                 | 30 000          |
| Jahr 1450  | Buchdruck               | 6 500           |
| 1830       | Fotografie              | 380             |
| 1900       | Lochkarte, Schallplatte | 70              |
| 1950       | elektronische Medien    | 50              |
| 1985       | opto-motorische Medien  | 35              |
| 2010       | ???                     | 25              |

### 3.8. Vernetzte Speicher

Bild 44 auf Seite 49 weist aus, dass um 2020 weltweit bereits  $10^{22}$  Byte Speicherkapazität erreicht sind. Infolge der immer notwendigen Volumenredundanzen nach Abschnitt 3.7.6 betragen die wahrscheinlich maximal erreichbaren Werte etwa  $10^{25}$  Byte. Sie dürften wohl in absehbarer Zeit erreicht sein. Ähnliches folgt auch aus Bild 47 auf Seite 51, wonach bereits teilweise nur noch 1 Atom/Bit benutzt wird. Da außerdem nach Bild 45 Seite 50 die Bit-Preise seit etwa 1995 besonders schnell abnehmen, wird wahrscheinlich auch die Sammelleidenschaft für Gespeichertes weiter zunehmen – siehe dazu die Erzählung von Twain auf Seite 2. Weiter ist mit **Bild 59** ein Überblick zur historischen Entwicklung aller Speichervarianten gegeben. Dabei konnte aber für fünf von den möglichen acht Varianten (Tabelle S. 8) Daten benutzt werden, die einen Kurvenverlauf ermöglichen. Für die genetische und neuronale Speicherung wurden sie vereinfacht und angepasst von [Jer76] und [Kap72] übernommen (a) und entsprechen in (b) dem gelb unterlegten Teil. Die anderen Daten stammen weitgehend aus den im jeweiligen Text genannten Werten. Insgesamt beginnen alle Speichervarianten zu einer recht gut bestimmbar Zeit, wachsen dann zunächst recht schnell und gehen schließlich in eine Sättigung über. Sie entsprechen alle dem ressourcenbegrenzten Wachstum. Zunächst wächst dabei der zeitliche Wert  $N$  proportional mit dem Faktor  $\alpha$ :

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

Mit den Startwerten  $t_0$  und  $N_0$  führt die Integration zu einem exponentiellen Wachstum:

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

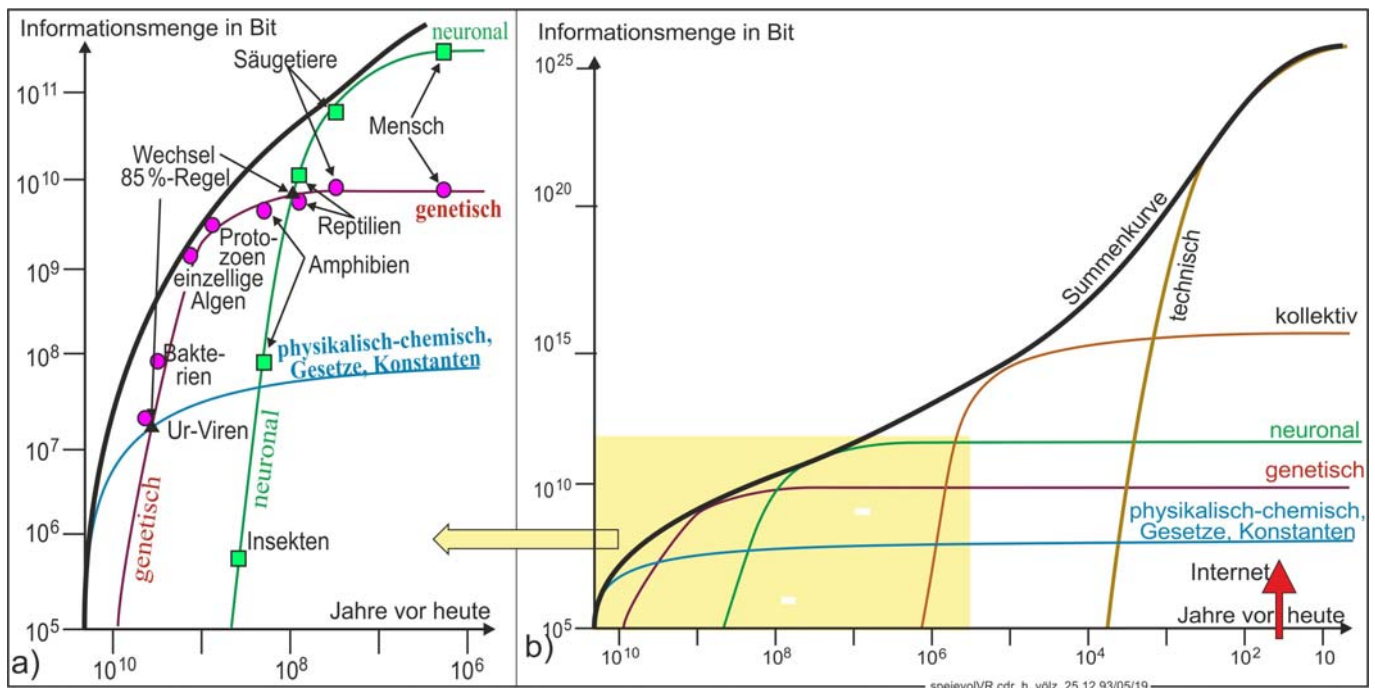
Bei endlichen Ressourcen erfolgt jedoch eine Begrenzung auf das Maximum  $M$  und es entsteht die Differentialgleichung, welche die fünf Speichervarianten recht gut erfüllen:

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

In der Technik entsteht fast immer eine neuartige Lösung genau dann, wenn die vorhergehende Variante 85 % des Grenzwertes  $M$  erreicht<sup>19</sup>. Für diese 85-%-Regel gibt es jedoch keine theoretische Begründung. In der Technik wird dafür aber meist angenommen, dass

<sup>19</sup> Ich besitze ein durch die Wende unpubliziertes Manuskript von H. Schrauber aus der Hochschule für Ökonomie. Er fand den Wert bei über hundert Beispielen, u. a. bei Lichtquellen, Messprinzipien und chemischen Elementen.

dann dem Management der Aufwand für die Weiterentwicklung des alten Produktes größer als für eine Neuentwicklung erscheint. In Bild 59a ist der Übergang bei den Reptilien deutlich zu erkennen. Er liegt in der Nähe des Übergangs des Lebens auf die feste Erdoberfläche. Zur Genetik führten eventuell die Ur-Viren. Der Übergang zur kollektiven Speicherung setzt die Sprache voraus. Die technische Speicherung beginnt etwa mit dem Buchdruck. Allgemeiner gilt folglich, dass hauptsächlich mit dem Entstehen von Problemen und Widersprüchen die neue Qualität entsteht. So bewirkte die ab 1985 immer mehr zunehmende Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Speicher und CPU die Cash-Speicher (vgl. Bild 46, S. 50). Ähnlich könnte der ab etwa 1970 ständig wachsende Unterschied zwischen den Datenbeständen und der Übertragungsgeschwindigkeiten (Bild 45b, S. 50) ab etwa 1985 zur Vernetzung der weltweiten Speicher, zum www (world wide web) bzw. Internet und damit auch zu den vernetzten Speichern geführt oder zumindest deren Entwicklung beschleunigt haben. Jetzt ist nicht mehr die Datenmenge begrenzend, sondern das schnelle Auffinden von Etwas. Die neu entstehende Qualität bietet dafür neue Möglichkeiten und dürfte bereits ansatzweise vorliegen und wird künftig beachtliche Folgen haben. Alle Aussagen zu den Vorteilen und Nachteilen des Neuen sind aber mit beachtlichen Unsicherheiten behaftet (s. o.). Die Speicherkapazität wird nur noch vergleichsweise unwesentlich zunehmen. Weltweit dürften aber künftig alle Speicherinhalte sehr schnell abrufbar werden. Das verlangt auch neue Varianten, Algorithmen usw. gegenüber den Methoden im Abschnitt 3.7.3.



**Bild 59.** Wachstum der Speicherkapazitäten bei den verschiedenen Speichervarianten.

## 4. Zusammenfassung

Das Prinzip der Speicherung ist meist so selbstverständlich, dass es bisher kaum wissenschaftliche Beachtung erlangt hat. Hierauf weist z. B. Wersig in [Wer89], S. 146 hin:

*„Die Speicher sind offensichtlich das Stiefkind der Kommunikationsorganisation, weil sich niemand sonderlich dafür interessiert und die Personalpolitik hier auch selten innovativ greift.“*

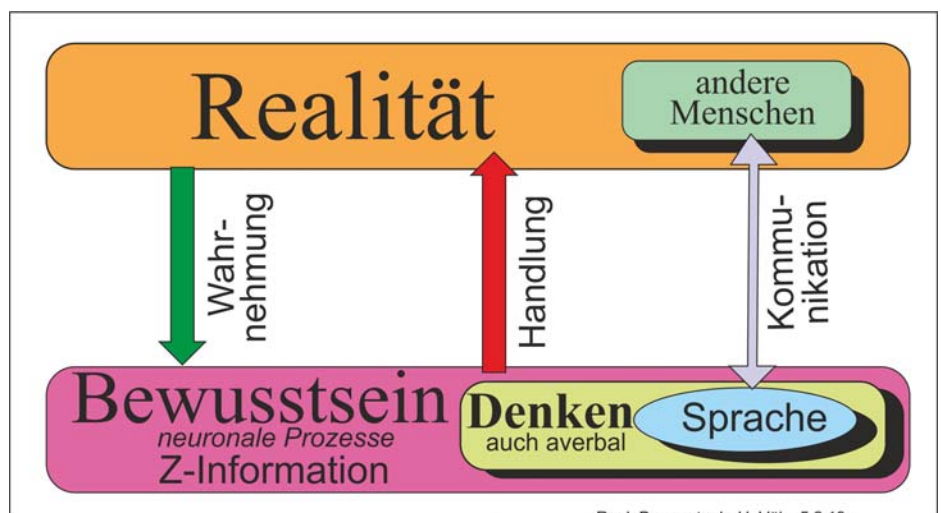
Das gilt ähnlich für die meisten Gebiete. Doch sogar in der Fachliteratur der Elektronik und Informationswissenschaft werden Speicher fast nie behandelt. Mit den Bildern 39 und 40 auf S. 46 ist das zusätzlich und deutlich belegt: Sie sind zwar ein oder gar das wichtigste Graunbauelement der Digitaltechnik, werden aber dennoch fast immer einfach vorausgesetzt. Besonders aufschlussreich ist dagegen die allgemeine Feststellung: Speicher waren und sind wesentlich für die technologischen Fortschritte der Mikroelektronik.

Hier wird dagegen die umfangreiche und fundamentale Bedeutung der Speicherung herausgestellt und einer systematischen Analyse unterzogen. Dazu wird der Begriff zunächst etwas weiter als üblich eingeführt. Es werden drei Hauptprinzipien der Speicherung erklärt und zwar die von Stoffen im Sinne einer Lagerung, die von Energie und die indirekte Speicherung mittels Zeichen, also von Begriffen, Fakten, Daten und Geschehen. Insgesamt wird gezeigt, dass es eine Evolution der Speicherung gab, bei der die Menge des Gespeicherten systematisch und gewaltig wächst. Dabei lassen sich acht Arten bzw. Etappen unterscheiden: Ständigkeit, physikalisch-chemisch, egotrop, genetisch, neuronal, gesellschaftlich, technisch und vernetzt. In jeder Art nimmt die gespeicherte Menge gemäß einem begrenzten Wachstum zu. Wenn dabei in einer Etappe etwa 85 % der Sättigung erreicht wird, dann entsteht eine neue Qualität, die nächste Etappe. Die technische Speicherung ist bereits ab 1995 so leistungsfähig, das zumindest alles was elektronisch geschieht gespeichert werden kann. Sie strebt schließlich der prinzipiell möglichen Höchstmenge zu und wird dann durch die vernetzte Speicherung abgelöst, die ohne wesentlichen Mengen-  
zuwachs existiert.

Nach Ursachen für den Beginn, der Ständigkeit wird hier nicht gefragt. Das hätte zwangsläufig zu einem Zirkelschluss gemäß der Letztbegründung und damit zum Münchhausen-Trilemma geführt. Deshalb wurden auch keine der vielen Mythen und Legenden für den Weltbeginn benutzt. Es sei dabei auf Platons Theaitetos „Was ist Erkenntnis?“ verwiesen: „Wir kommen an einen Punkt, wo wir nicht weiter machen können, also werde ich eine Geschichte erzählen.“ Stattdessen wird hier einfach – wie in der Wissenschaft allgemein üblich – Ständigkeit als eine notwendige Bedingung vorausgesetzt. Als zweite Voraussetzung führt ihre Änderung zu Konstanten, Gesetzen mittelbar Zeit. Doch das setzt wieder Speicherung (also Ständigkeit) voraus und leitet so zur physikalisch-chemischen Speicherung über.

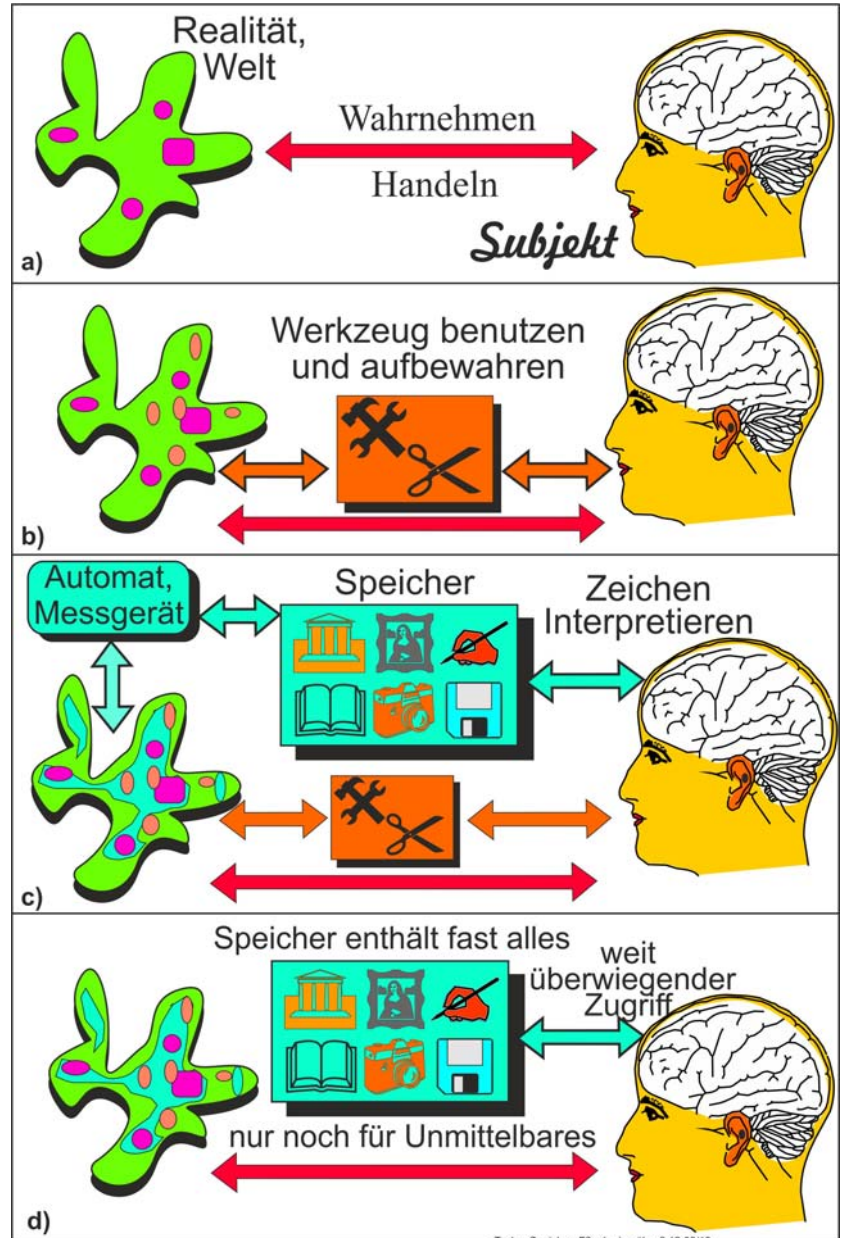
Mit **Bild 60** wird nun zunächst zusammengefasst, wie sich ein Mensch vor der technischen Speicherung gegenüber der Realität verhält.

**Bild 60.** Zum Verhältnis des Menschen zur Realität ohne technische Speicherung.



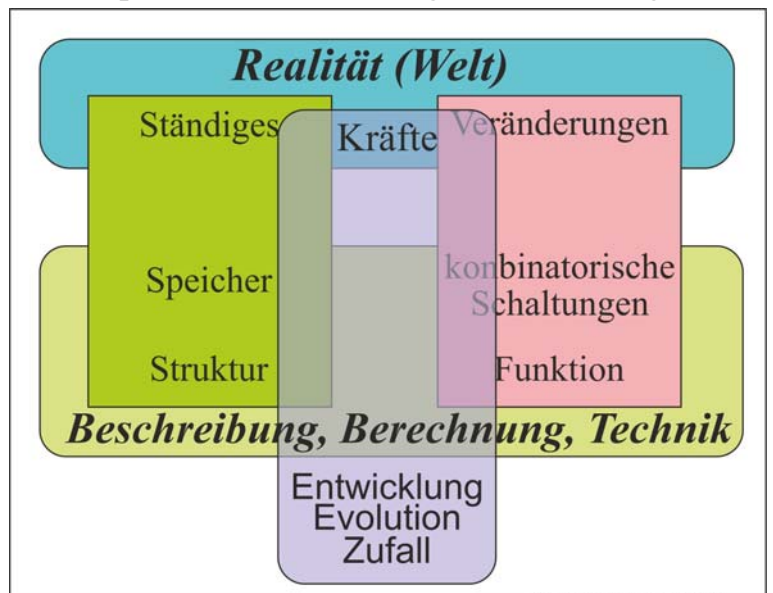
**Bild 61** zeigt dann die Übergänge zur technischen und vernetzten Speicherung, in (a) zunächst die verkürzte Darstellung von Bild 60. In (b) sind die Änderungen zum Werkzeuggebrauch. (c) fügt dann zusätzlich die Nutzung von technischen Speichern ein. In (d)

sind dann die Verhältnisse bei der vernetzten Speicherung aufgezeigt. Dabei fällt auf, dass dann fast nur noch ein mittelbar gedanklicher Zugriff auf die Speicherung erfolgt. Lediglich im unmittelbar täglichem Leben erfolgt noch ein direkter Zugriff auf die Realität. Das hat beachtliche Konsequenzen, die aber erst bei den Schlussfolgerungen im Kapitel 5 abgeschätzt werden.



**Bild 61.** Die Änderungen der Zugriffe bei den Übergängen zur technischen und vernetzten Speicherung

Schließlich wird noch mit **Bild 62** gezeigt, wie sich die gesamte Speicherung in die Realität einordnet. Dabei ergänzen sich Speicher und kombinatorische Schaltungen und ermöglichen so z. B. für die Rechner die sequentiellen Schaltungen. Ähnlich gehören Struktur und Funktion zusammen. In der Realität (Natur) entsprechen dabei jeweils das Ständige den Speichern und den Veränderungen die kombinatorischen Schaltungen. Insgesamt erfolgt durch alles die Evolution bzw. Entwicklung. Sie haben aber kein Ziel sondern verwirklichen vorwiegend durch Zufall nur die Möglichkeiten.



**Bild 62.** Die Zusammenhänge der besonders wichtigen Begriffe.



Die meisten Speicherungen betreffen die Z-Information und damit der mittelbaren Erweiterung des Wissens in unserem Gedächtnis. Dabei ist der Unterschied von Wissen und Information zu beachten (s. Bild 51, S. 55). Weniger Beachtung findet dagegen die Speicherung der Vergangenheit. Sie wurde erstmalig in der Evolution durch Gegenwartsgeächtnis möglich. Ohne diese Speicherung würden wir nur die Gegenwart erleben und kennen. Sehr allgemein ist das für die Vergangenheit und die physikalisch nicht existierende Zeit belegt [Völ19]. Stark gekürzt ist das im Abschnitt 2.2 wiedergegeben. Die Notwendigkeit der Vergangenheitsspeicherung betrifft u. a. die Spuren für die Kriminalistik, die Dokumente für die Geschichte und die historischen Funde für die Archäologie. Ähnlich gilt die Reststrahlung als Hauptbeleg für den möglichen Urknall. Zwar hat die Menschheit viele Methoden zur Abschätzung (Berechnung, Prognose) der Zukunft entwickelt, jedoch für die Vergangenheit ist eine Rückrechnung prinzipiell kaum möglich (s. S. 17). Das gilt besonders ausgeprägt für den Beginn von etwas. Genau deshalb ist die Speicherung der Vergangenheit so wichtig. Eigentlich sollte sie unveränderlich feststehen. Aber dennoch existiert sie nicht mehr. Daher benötigen wir für das einstige Geschehen unbedingt damals Gespeichertes. Dabei tritt ein Speicher-Paradox auf: Das gespeicherte soll unveränderlich sein und ist daher quasi „tot“. Nützlich wird es erst durch darauf erfolgende Veränderungen. Doch um das zu erkennen, muss es zum Vergleich benutzt werden.

Schließlich gibt es noch recht spezielle Speicherungen, z. B. für Funktionen usw. bei den PLA und ASIC. Bezüglich des Zugriffs auf Daten nimmt die Holografie neben der assoziativen Speicherung eine Sonderstellung ein.

Schließlich sei noch darauf verwiesen, dass die Speicherung fast immer unvollständig ist und daher durch Zusatzdaten, wie Ort und Zeit ergänzt werden muss (s. Bild 49. S. 64).

## **5. Folgerungen und Möglichkeiten**

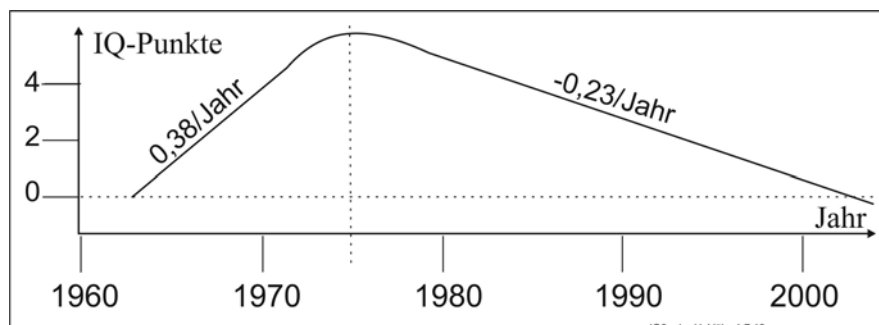
Die Entwicklung der Speicherung spiegelt, wenn auch leicht verändert, die Evolution der Welt, des Lebens usw. wider. Bezüglich der dabei gewaltigen Zunahme der Komplexität sei auch hier auf Richard Dawkins blinden Uhrmacher verwiesen [DAW87]. Für den Vergleich ist es sinnvoll, mit der Ständigkeit und Veränderung der Realität zu beginnen, um so die Münchhausen-Trilogie zu unterlaufen. Die Evolution der Speicherung erfolgt in den Etappen diskret. Bei jeder einzelnen nimmt jedoch die Speicherkapazität kontinuierlich bis zur jeweiligen Sättigung zu. Sie wächst exponentiell mit Ressourcenbegrenzung (s. S. 61). Schwieriger und unsicherer ist es zu erkennen, was in der letzten Etappe, der vernetzten Speicherung, bereits erfolgt und künftig erfolgen könnte. Theoretisch dürfte sich jedoch nicht die Grenze der Speicherkapazität wesentlich steigern. Dennoch lassen sich neue Erkenntnisse vor allem durch verlustfreie und verlustbehaftete Komprimierungen speichern. Ganz ähnlich wie bereits die einst so erfolgreichen optischen Medien wie CD und DVD bereits heute durch Flash-Speicher, mp3 und den Internet-Abruf so gut wie verdrängt sind. Zusätzlich können auch neue algorithmische Methoden, Klassifikationen und Axiomatiken möglich werden. Das wird auch für die vernetzte Speicherung für noch schnellere Übertragungen nützlich sein. Schließlich ist auch zu beachten, dass zumindest aus menschlicher Sicht mit jeder neuen Speicheretappe auch negative Auswirkungen auftraten. Z. B. wurde mit der physikalisch-chemischen Speicherung u. a. durch die Reaktionen die Stabilität der Realität geringer. Die egotrope Speicherung verwendete nur ausgewähltes Material und änderte so noch stärker die Zusammensetzung der Realität. Durch

die genetische Speicherung wurde dieser Effekt nochmals wesentlich verstärkt. Die neuronale Speicherung löste auch einen vernichtenden Kampf zwischen den höheren Tieren aus. Mit der gesellschaftlichen Speicherung entstanden die vielen Kriege und schließlich sogar die Weltkriege mit nuklearen Waffen. Die technische Speicherung erzwang neben dem Lesen- und Schreibenlernen auch die umfangreiche, langwierige und spezielle Ausbildung jedes Einzelnen. Voraussagen darüber, was die vernetzte Speicherung Negatives auslösen könnte, sind jedoch so unsicher wie alle Prognosen. Nahe liegend scheint hier der Nachweis zu sein, dass seit 1975 eine stetige Abnahme des Intelligenzquotienten IQ des Menschen erfolgt. Hierzu ist eine genauere Betrachtung wichtig, u. a. [www1].

Den ersten Intelligenztest hatte 1905 Alfred Binet und Théodore Simon entwickelt. Generell wird sein Wert auf das Alter bezogen und dann mit einem Mittelwert von 100 Punkten festgelegt. Zwei Wissenschaftler der Universität Oslo haben kürzlich 730 000 IQ-Tests an jungen Männern und Frauen der Jahrgänge 1962 bis 1991 untersucht, die den Militärdienst in der norwegischen Armee antraten. Bis zum Jahrgang 1975 stiegen die Werte stetig auf mehr als 102 Punkte an, danach fielen sie systematisch und die Jahrgänge 1991 erreichten nur noch knapp 100 Punkte. Nach anderen 271 Untersuchungen aus 31 Ländern verbesserten sich die Werte ab 1962 bis 1975 um 0,26 bis 0,28 Punkte/Jahr. Der Anstieg wird nach ähnlichen Messungen von James Flynn als „Flynn-Effekt“ bezeichnet. Es wurde durch die bessere Ernährung, medizinische Versorgung und Bildung erklärt. Ab 1975 nahm der IQ jährlich jedoch um etwa 0,23 Prozent ab. Nachdem genetische Faktoren ausgeschlossen waren, wurden als Ursache Umweltschadstoffe, polychlorierte Biphenyle (PCB), die in Flammschutzmitteln und Pestiziden enthalten sind, angenommen. Über die Schilddrüse könnten sie sich auf das Gehirn auswirken. Von ihnen waren bereits zuvor negative Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit von Männern ermittelt worden.

Wird der Verlauf des IQ über die Zeit aufgetragen, so ergibt sich **Bild 63**. Sein Anstieg ist über die obigen Aussagen hinaus bereits seit dem Buchdruck ab 1450 (Gutenberg) und die allgemeine Schulpflicht ab 1710 anzunehmen. Recht unklar ist jedoch der Abfall. Die oben genannten Umwelthormone sind kaum überzeugend. Auch ungenaue Vermutungen in der Literatur bezüglich der Massenmedien sind zunächst nicht nachvollziehbar, denn Zeitungen gab es ab dem 16. Jh., Foto und Kino seit Beginn des 19. Jh. und schließlich den Rundfunk ab den 1920er Jahren. Durch sie hätte das Sinken des IQ bereits viel früher einsetzen müssen. Rein verbal und aus der Beobachtung vermuten einige bereits, dass durch das Smartphone negative Auswirkungen auf die Intelligenz erfolgen könnten. Das wird u. a. durch Beobachtungen in den öffentlichen Verkehrsmitteln begründet, wo massenweise ein völlig sinnloses Herumstöbern in Dateien und reines Anschauen von Videosequenzen zu beobachten ist. Das ließe sich außerdem gut mit dem Übergang zur vernetzten Speicherung begründen.

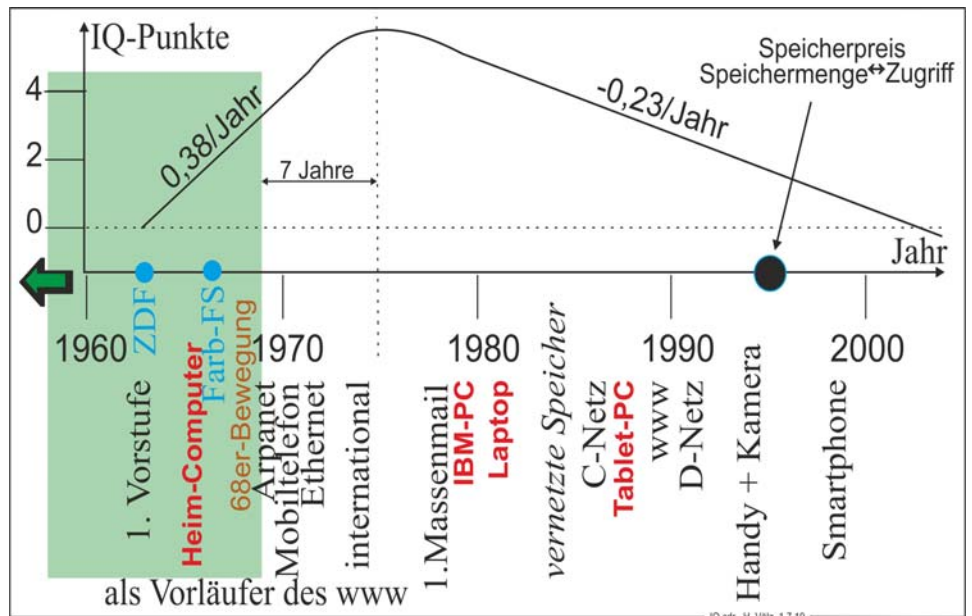
**Bild 63.** Grafische Darstellung des IQ-Verlaufs.



Nach den bisherigen Aussagen ist für das Sinken des IQ eine systematische Analyse erforderlich. Deshalb wurden möglichst alle wichtig erscheinenden Fakten ergänzt und so entstand **Bild 64**. Der gelbe Bereich begrenzt zusätzlich den Zeitpunkt des Beginns. Er

sollte mindestens 7 Jahre vorher erfolgt sein. Die vernetzte Speicherung und das Internet begannen aber deutlich Später und scheiden daher als Ursache aus. Auch der sinkende Speicherpreis und die Divergenz zwischen den Zunahmen von Speichermenge und Zugriffszeit treten mit 1995 wesentlich später auf (schwarzer Punkt). Sogar der breite Einsatz der Computer-Technik (rot) kommt nicht in Betracht. Eventuell könnten die Folgen der weltweiten 68er Protestbewegungen (braun) Ursache sein. Sie richtete sie aber vor allem gegen Denkmuster der bürgerlichen Tabus und die kapitalistischen Auswüchse und dürfte so kaum mit dem IQ zusammenhängen [www3]. Im richtigen Zeitbereich verbleibt dann nur noch der umfangreiche Einsatz des Fernsehens. Doch dazu bedarf es noch einer gründlichen Analyse insbesondere in Abgrenzung zum Film und Rundfunk.

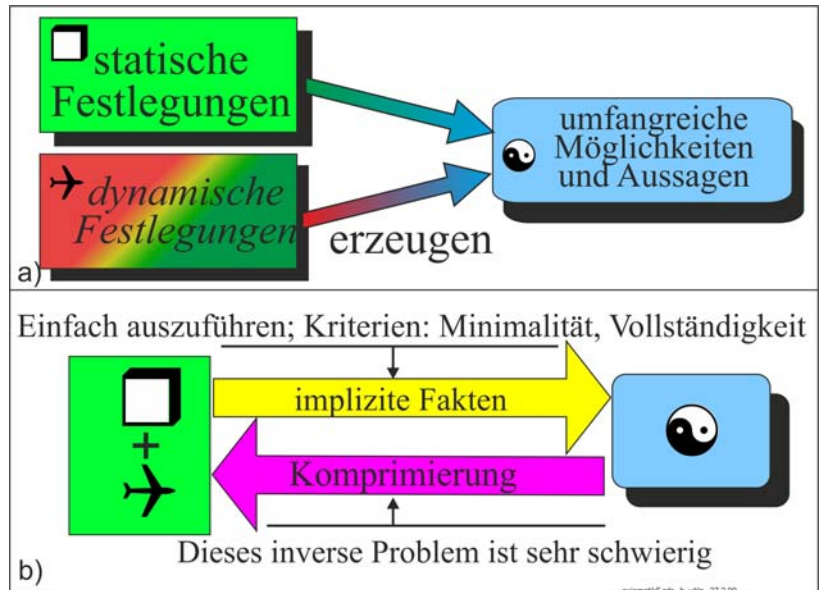
**Bild 64.** Zur Analyse des sinkenden IQ seit 1975.



Während der Rundfunk nur sequentiellen Schall, u. a. Sprache und Musik nutzen kann, verwenden Film und Fernsehen sowohl das Bild als auch den Ton. Sie beanspruchen daher unsere beiden wichtigsten Wahrnehmungskanäle. Während Fernsehen heute jederzeit und im Heim verfügbar ist, muss für den Film erst eine anderer Ort, das Kino aufgesucht werden und das dazu auch noch zu bestimmten Zeiten und mit Bezahlung. Außerdem steht beim Film das Kunstwerk ganz im Gegensatz zum Fernsehen im Vordergrund. Dokumentarfilme sind recht selten. Fernsehen bevorzugt dagegen ganz wesentlich Aktuelles, u. a. Wirtschaft und Politik.

Der Vergleich von Rundfunk und Fernsehen ist vor allem durch den Unterschied von Bild und Ton bestimmt. Bilder können wir nur wahrnehmen. Dagegen vermögen wir Sprache sowohl zu hören als auch aktiv zu sprechen. Außerdem können wir fast nur sprachlich Denken und das sogar lautlos. Gedankliche Bildmanipulationen vermögen nur ganz wenige und dann auch nur erheblich begrenzt durchzuführen. Diese Entwicklung führte zur Infografik. Sie wurde zunächst zur Veranschaulichung von vielfältigen Wirtschaftsdaten eingeführt; dann aber bald politisch missbraucht. Nach der Frankfurter Allgemeinen vom 23.10.93, waren ganze Bataillone von Grafikern im Nahostkrieg eingesetzt und bewusst negativ missbraucht (nur inhaltlich paraphrasiert). Einem Bild kann man kaum widersprechen. Es betrifft ja Fakten, deren mögliche Manipulation zudem schwer feststellbar ist. Daher ist es nicht möglich bis notwendig, sich über den Inhalt Gedanken zu machen. Das war bereits sehr viel früher den Mathematikern bekannt. Deshalb beschloßen sie 1637, ganz ohne Bilder auszukommen. Künftig sollten nur noch sprachliche oder mathematische, rational logische Begründungen verwendet werden. Ein Musterbeispiel dafür ist die Axiomatik von **Bild 65**. Sie wird durch statische Daten und dynamische Gesetze festgelegt. Damit ermöglicht sie es, vielfältige Ergebnisse abzuleiten. Mit ihr ist

auch die Ursache-Wirkungsrelation gut erfassbar. Sie erfordert jedoch beachtlichen Denk- und/oder Rechenaufwand, was erst gründlich im Sinne von Intelligenz (s. u.) erlernt werden muss. Die damit gewonnenen Ergebnisse sind dann auch oft nicht unmittelbar aus Speichern zu erhalten. Dazu müssen die Axiomaten erst „ausgewickelt“ werden. Dennoch folgen aus ihnen die Ergebnisse immer zwangsläufig. Leider sind jedoch die „richtigen“ Festlegungen und Regeln meist nur schwer zu gewinnen. Daher zählen mehrere Axiomaten zu den seltenen Leistungen, der dadurch berühmten Wissenschaftler, wie Newton und Einstein.



**Bild 65.** Der Aufbau und die Anwendung der Axiomatik.

Als eine negative Folge von dem mathematischen Bildverbot beklagt z. B. um 1950 Grace Murray Hopper, dass ihre Dissertation offensichtlich deshalb unbeachtet blieb, weil sie bildliche Aussagen enthielt. Doch Bilder haben auch den Vorteil zweidimensional zu sein. Prinzipiell ermöglicht das, komplexe Zusammenhänge, u. a. Klassifikationen direkt wahrnehmbar zu machen. Doch die Erfahrung zeigt, dass so etwas nur wenige nutzen oder gar verstehen.

Die recht kurz dargestellten Unterschiede von Fernsehen, Film und Rundfunk zeigen deutlich, dass sich vor allem das Fernsehbild negativ auf den IQ auswirken könnte. Dabei kommt aber noch negativ hinzu, dass Fernsehen durch die Beanspruchung beider Wahrnehmungskanäle kaum Zeit oder Freiheiten für ein Denken zulässt. Das gilt dann noch verstärkt, wenn pausenlos und zuweilen sogar ganztägig quasi unaufhörlich zugeschaut und zugehört wird.

Zur weiteren Vertiefung der Aussagen ist es vorteilhaft auf die wichtigsten Eigenschaften von Denken, Wissen, Bewusstsein, Intelligenz, Kreativität, Sprache und Bildung und auch im Zusammenhang mit der Speicherung einzugehen. Das Wissen ist aber bereits im Kontext von Bild 51, S. 55 für die weiteren Untersuchungen hinreichend behandelt. Ferner ist bereits in der Zusammenfassung mit den Bildern 60 bis 62 (ab S. 64) und den dort gegebenen Aussagen hierzu viel Wichtiges enthalten.

Bezüglich der **Intelligenz**<sup>20</sup> glaubte einmal Weizenbaum, dass es für sie eine obere Grenze geben müsse, wie etwa die Entropie in der Informationstheorie. Doch bald wurde ihm klar, dass bereits die Intelligenz von Mensch und Tier recht verschieden sind. Sie werden vor allem durch die spezifischen Bedürfnisse bestimmt und sind daher sehr unterschiedlich [Wei77]. Die menschliche Intelligenz betrifft hauptsächlich abstraktes, vernünftiges, logisches, folgerichtiges Denken und daraus abgeleitetes zweckvolles Handeln. Sie ist auch für die Axiomaten notwendig (s. o.). Im alltäglichen Umgang wird unter Intelligenz auch Klugheit, Lebenstüchtigkeit, Schlaueit, Gerissenheit usw. verstanden. Nach

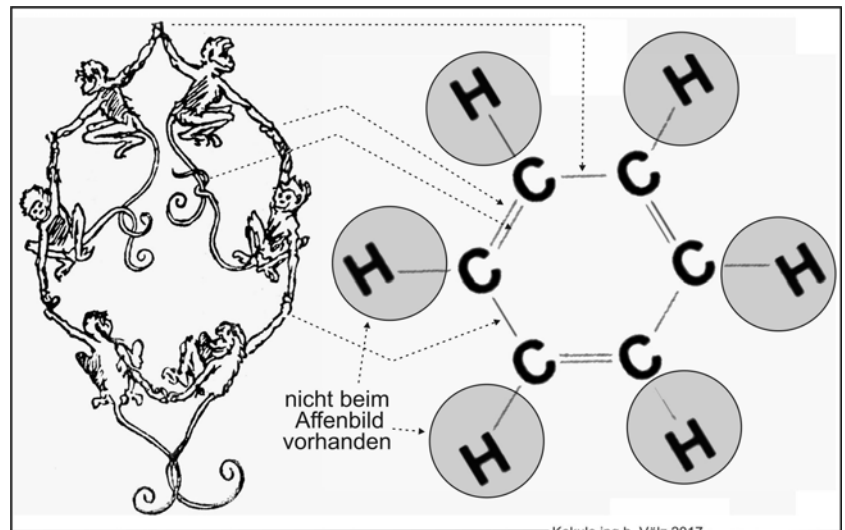
<sup>20</sup> Lateinisch intellegere, intellectum innwerden, verstehen, erkennen, also Einsicht, Verstand; Kenntnis und Verständnis.



Klix ist das Denken in Analogieschlüssen und Hierarchien besonders wichtig [Kli83]. So können ein Wissen und eine Erfahrung schnell und sinnvoll auf Unbekanntes, Neues oder einen neuen Kontext übertragen und genutzt werden. Vorteilhaft sind auch Phantasie, Gedächtnisleistung, Erkennen abstrakter Muster und Finden optimaler Problemlösungen.

Für die Schaffung von Neuem, oft Nützlichem ist **Kreativität**<sup>21</sup> erforderlich, die Intelligenz voraussetzt und auch mit dem IQ zusammenhängt. Tucholsky sagte dazu, dass wir uns lieber über etwas hundertmal ärgern, bevor wir es abändern. Das verlangt nämlich meist viel Wissen und Erfahrung. Sind aber erst einmal die meist schwierig zu findenden Ursachen der Probleme gut bekannt, dann lässt sich eine Aufgabe formulieren und weiter mit einer Zielstellung präzisieren. Ein derartiges schrittweises Herangehen zur Problemlösung ist typisch für die (systematische) Heuristik [Mül90]. Doch diese Methode ist leider nicht immer anwendbar und so muss die Lösung „intuitiv“ gefunden werden. Nicht selten geschieht das unbewusst im Traum oder Wachtraum. So berichtete z. B. August von Kekule 1890 in seiner Festrede, dass er im „Halbschlaf“ Atome vor seinem geistigen Auge gaukeln gesehen habe, und „Eine der Schlangen erfasste den eigenen Schwanz (Ouroboros) und höhnisch wirbelte das Gebilde vor meinen Augen. Wie durch einen Blitzstrahl erwachte ich“ [www2]. Damit erkannte er die Lösung für den ringförmigen Benzolaufbau. Anderen Berichten von 1865 zur Folge soll er vier Affen beobachtet haben, die sich kreisförmig gegenseitig am Schwanz hielten (**Bild 66**). Auf ähnliche Weise sollen auch Dimitri Mendelejew das Periodensystem der Elemente und Elias Howe die Nähmaschine im Traum gefunden haben. Nachdem ich über etwa 30 Jahre meine Studenten vergeblich auf das stark störende Sampling-Rauschen der Musikdigitalisierung hingewiesen hatte, erkannte ich am 21.01.2007 völlig unerwartet im Wachtraum die Kontinuierliche Digitalisierung [Völ08].

**Bild 66.** Kekule und der Benzolring. Die Verweispfeile mussten jedoch spiegelbildlich eingetragen werden.



Viele der neuen Ideen entstehen somit häufig oder gar überwiegend im Traum und Halbschlaf. Dazu müsste unser Gehirn an der Lösung von Problemen auch dann weiter „arbeiten“, jedoch ohne unser Bewusstsein zu erreichen. Dabei könnten sogar uns unbekannte Methoden oder Algorithmen auftreten. Für die Intelligenz und Kreativität wäre somit entspanntes Ruhen wesentlich. René Descartes Satz „*Ich denke also bin ich - Cogito ergo sum*“ wäre deshalb so zu ergänzen: *Ich denke und lasse das Es, mein Gehirn denken, also bin ich.*

Die Kreativität habe ich erstmalig 1990 grob abgeschätzt [Völ91], S. 327. Das Ergebnis zeigt die Tabelle. Zusätzlich folgten um 2000 noch Ergebnisse der Leistungen von Programmierern [Völ01], S. 469ff., [Völ17], S. 259ff. Leider wurde das bisher aber kaum

<sup>21</sup> lateinisch creare (er)schaffen, (er)zeugen), auch Schöpferkraft.

beachtet. Hier wären genauere und statistisch besser abgesicherte Werte sehr nützlich. Eine subjektive Kreativität liegt dann vor, wenn jemand für sich selbst Neues gefunden hat. Objektiviert Kreativität tritt dann ein,

|                       | subjektiv   | objektiviert                             | absolut  |
|-----------------------|---|--|--|
| maximal hoch kreativ  | $10^{-6} - 10^{-2}$ Bit/s<br>1 Bit/Stunde   | $10^{-7} - 10^{-3}$ Bit/s<br>1 Bit/Tag   | $10^{-8} - 10^{-7}$ Bit/s<br>1 Bit/Jahr                                      |
| gemittelt             | $10^{-4} - 10^{-3}$ Bit/s<br>1 Bit/Tag  | $10^{-6} - 10^{-5}$ Bit/s<br>1 Bit/Woche | $10^{-9} - 10^{-8}$ Bit/s<br>1 Bit/Leben                                     |
| Große Projekte        | <b>Programmieren</b><br>20 gültige Zeilen/Tag<br>$5 \cdot 10^{-3}$ Bit/s $\approx$ 20 Bit/h |  | <b>Buch schreiben</b><br>2 Druckseiten/Tag<br>0,5 Bit/s $\approx$ 2000 Bit/h |
| Menschheit            | total 30 Bit/s $\approx$ $10^9$ Bit/Jahr  |  |  |
| biologische Evolution | etwa $3 \cdot 10^{-9}$ Bit/s $\approx$ 0,1 Bit/Jahr   |  |  |

wenn subjektive Ergebnisse in einen größeren Umkreis (Kollektiv, Team) anerkannt und möglichst auch angewendet werden. Absolute Kreativität verlangt schließlich eine weltweite Anerkennung des Neuen. Kreativität kann auch rein zufällig auftreten (s. S. 65 blinder Uhrmacher.). Daher kann der Begriff auf die Evolution und bedingt auf Erkenntnisse im Traum und Halbschlaf übertragen werden.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, dass es für die Intelligenz und Kreativität günstig ist, wenn man in einem intellektuell stimulierenden Umfeld aufwächst. Besonders positiv wirkt es sich dabei zusätzlich aus, wenn das bereits im Vorschulalter beginnt. Werden uns dagegen früh Dogmen aufgezwungen, so wird das für Intelligenz und Kreativität wichtige kritische Hinterfragen schnell aber langfristig unterdrückt. Das wird nur beim Judentum konsequent vermieden. So werden hier bereits 14-jährige vollwertig in die undogmatischen Diskussionen zur Thora und zu den Glaubensgrundsätzen einbezogen. Vielleicht ist darauf der stark überproportionale Anteil hochintellektueller Juden in Wissenschaft und Kunst zu erklären. Weltweit hat das Judentum nämlich nur etwa  $1,35 \cdot 10^7$  Anhänger, dagegen das Christentum  $2,1 \cdot 10^9$  und der Islam  $1,3 \cdot 10^9$ . Der relative Anteil des Judentums beträgt also nur  $\approx 1/250$  [www4].

Aus den Beschreibungen von Intelligenz und Kreativität folgt, dass sich viel Fernsehen durchaus nachteilig auswirken kann. Das gilt ähnlich und vielleicht noch viel intensiver für das massenweise in öffentlichen Verkehrsmitteln zu beobachtende meist zufällige Herumstöbern in Dateien und das fortlaufende Anschauen von Bildern und kurzen Videosequenzen mit dem Smartphone. Beides lässt dem Gehirn keine Freizeit zum intelligenten Überdenken der Fakten und entspannte kreative Ruhe. Insgesamt wird so deutlich, dass letztlich die Sprache und dann folgend die Mathematik (mit Axiomaten) für die Intelligenz und Kreativität wesentlich sind. Im geringen Umfang gibt es zwar auch ein *averbales* Wissen, aber deutlich weniger averbale Intelligenz und wohl kaum averbale Kreativität. Leider sind in den letzten Jahrzehnten bezüglich des Textverstehens nachteilige Veränderungen eingetreten. So hat das Schauspiel deutlich an Zuspruch verloren. Festivals und Kulturreisen gibt es fast nur noch für Oper<sup>22</sup>, Ballet, Konzert, Kammermusik und Lied. Im Rundfunk ist das einzige spezifische Kunstwerk, das klassische Hörspiel fast verschwunden oder lautstark mit überflüssigen Geräuschen überlagert. Weitgehend ist es durch Feature für Sachfragen und Politik und inhaltsleere Klangkunst (ars acustica) ersetzt. Typisch ist auch, dass ein guter Witz heute nur noch von wenigen verstanden wird. Das merkte ich zuerst bei meinen Vorlesungen. Entgegen dem Kurzzeitgedächtnis von rund einer Stunde

<sup>22</sup> in der Originalsprache, die aber nur wenige Besucher verstehen

(S. 24), werden viele Vorlesungen von der Administration auf 90 Minuten festgelegt. Dann sinkt jedoch die Konzentration der Studenten deutlich nach 45 Minuten. Deshalb erzählte ich früher dann immer einen passenden Witz. Vergas ich es, so wurde er sogar deutlich eingefordert. Jedoch ab etwa 1980 blieb auf ihn jegliche Reaktion aus. Als ich dazu Studenten befragte, bekam ich zunächst keine Antwort. Als ich dann aber den Witz erklärte, folgte prompt die Antwort „Da muss ich ja um die Ecke denken“.

Für Problemlösungen und das Erkennen von Neuem sind die richtig gestellten Fragen oft wichtiger und schwieriger als die Antworten. Über die drei Fragetypen der folgenden Tabelle wird das besonders deutlich.

**Entscheidungsfragen** können häufig durch gespeicherte Daten – zum Teil auch aus dem Gedächtnis – beantwortet werden. Nur in seltenen Ausnahmen treten dabei auch zu lösende Probleme auf. So kann z. B. die Frage „Sind Viren Lebewesen?“ mit der Antwort „Viren sind keine *selbstständigen* Lebewesen“ präzisiert werden.

Für die **Ergänzungsfragen** gibt es meist unvollständige (Beispiel-) Listen für Ja/Nein-Fragen. Über die Antworten entstehen dann zuweilen Klassifikationen. Das erfordert meist mehr als einen einfachen Zugriff auf gespeicherte Daten oder auf das Gedächtnis, sondern bereits eigenes (intelligentes) Denken.

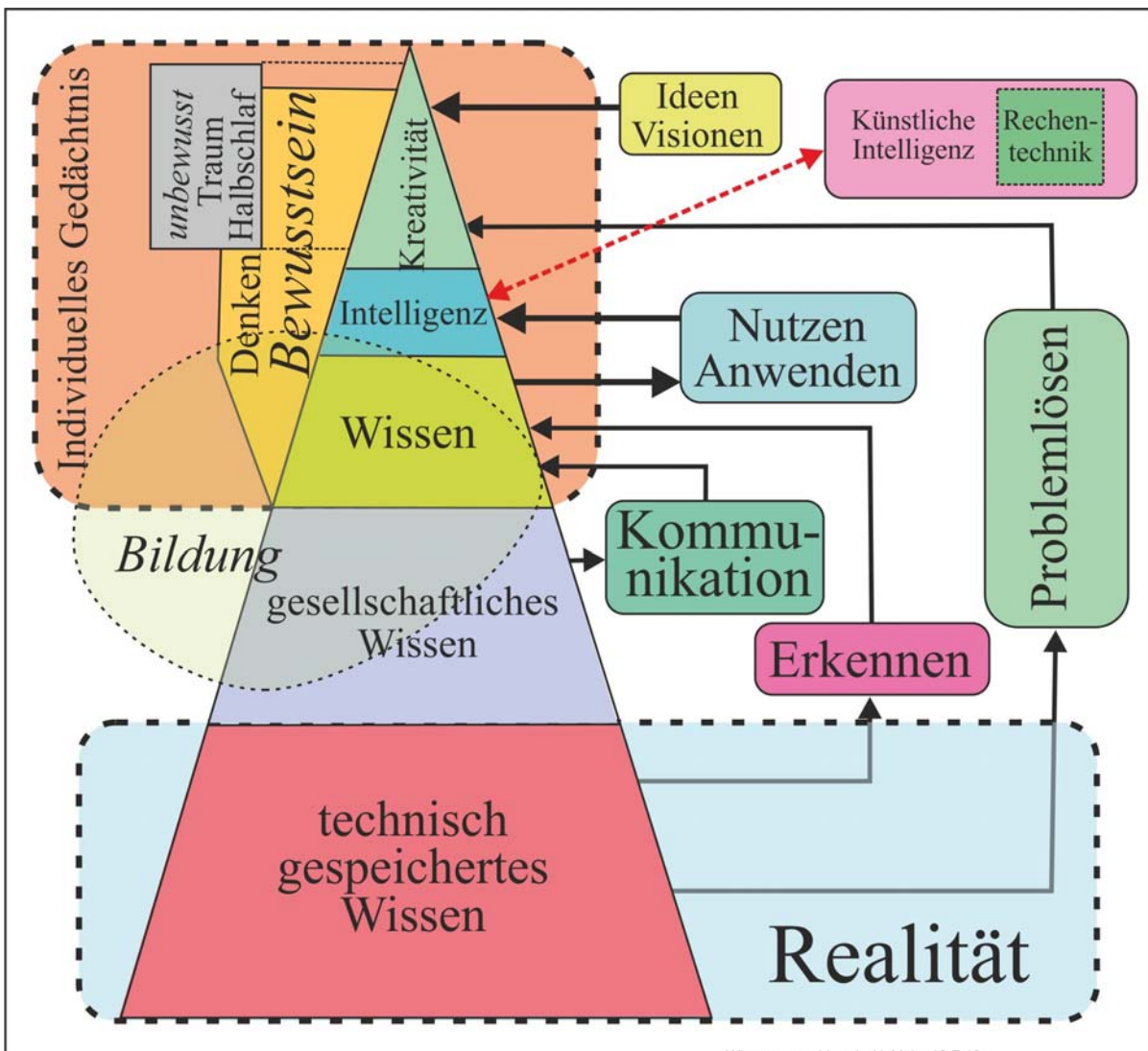
Bei **Begründungsfragen** ist es notwendig, Zusammenhänge abzuleiten. Aus Speichern müssen dazu meist lange Texte gelesen und verstanden werden. Zuweilen ist sogar eine Axiomatik (**Bild 65**) „auszuwickeln“ oder zuvor zu schaffen.

|                            | <b>Entscheidungsfragen</b>   | <b>Ergänzungsfragen</b>   | <b>Begründungsfragen</b>  |
|----------------------------|--|---|---|
| <b>Frage-<br/>wörter</b>   | Ist es wahr, richtig?  | Was, wann, wer, wo,<br>welche, wie viele  | Warum, weshalb, wieso   |
| <b>Beispiel<br/>fragen</b> | Ist $2 \cdot 2 = 4$ richtig?<br>Ist Schnee weiß?<br>Sind Viren<br>Lebewesen? | Welche Farbe hat die<br>Tulpe?<br>Wo liegt Dresden?<br>Wann erfolgte der Urknall? | Warum ist Schnee weiß?<br>Weshalb lebt der Mensch?<br>Wieso gibt es ein Sein? |
| <b>Prob-<br/>leme</b>      | Entscheidbarkeit   | Vollständigkeit der Tabelle   | Keine allgemeine Methode<br>zur Beantwortung bekannt                          |
| <b>Ergeb-<br/>nisse</b>    | Beschreibung:<br>Das ist so:   | Einordnung:<br>Gehört zu, ist Teil von:   | Erklärung:<br>Ursache-Wirkung   |
| <b>Antwor-<br/>ten</b>     | Ja/Nein<br>Gültig  | Ja/Nein bzgl. einer Tabelle<br>Klassifikation                                     | Indirekt, erklärend<br>Ursache→Wirkung,<br>Axiomatik                          |

Durch die Dreiteilung wird deutlich: Das heute übliche Klicken auf dem Smartphone und oberflächige Suchen im Internet ist nicht ausreichend. Für die Ausbildung einer kritischen Intelligenz ist es sogar nachteilig. Es werden nämlich nur Fakten, Wissen und Beschreibungen erhalten und selten Entscheidungsfragen beantwortet. Oft wird dabei auch die Antwort sogar wieder schnell vergessen, denn zum Behalten müssten die Ergebnisse entsprechend unserem Kurzzeitgedächtnis ja etwa 30mal leicht verändert erhalten oder „erarbeitet“ worden sein (s. S. 23). Schließlich kann dabei auch die für eine Kreativität nützliche Entspannung nicht eintreten.

Die Dreiteilung zeigt auch deutlich den Unterschied und Anteil von Wissen, Intelligenz und Kreativität. Alle drei betreffen unsere geistigen Eigenschaften und Leistungen. **Wissen** muss immer, aber zumindest aktuell gültig, richtig (Ja-Nein) sein. Es kann in technische Speicher abgelegt werden (vgl. Bild 51, S. 55 und Bild 61, S. 64). **Intelligenz**

betrifft darüber hinaus die betont menschliche Fähigkeit, aus Daten und Gesetzen effektiv die richtigen Folgerungen abzuleiten und anzuwenden. Der Versuch Teile dieser Fähigkeit auf technische Einrichtungen zu übertragen, betrifft die künstliche Intelligenz. **Kreativität** tritt nur im Zusammenhang mit Begründungsfragen auf und ist bezüglich ihres Entstehens ziemlich unklar. Einen Gesamtüberblick vermittelt **Bild 67**. Es soll hauptsächlich ausweisen, wie die Wissensmengen anteilmäßig verteilt sind und wie die Begriffe zusammenhängen. Zusätzlich ist darin noch die **Bildung** eingezeichnet. Ihr Begriff existiert erst seit der Renaissance, besonders im Zusammenhang mit der Aufklärung. Er wurde vor allem von Pestalozzi und Wilhelm von Humboldt geprägt und betrifft die gesellschaftlichen Lehr- und Lernprozesse. Dadurch soll vor allem den Heranwachsenden das notwendige Wissen und Können für ihr Leben vermittelt werden. Dennoch bleibt Bildung eine lebenslange und nie endgültig abgeschlossene Fähigkeit und Leistung. Nach dem Abschluss der Hauptschule folgen entweder die spezielle Berufsausbildung oder die weitere Schulbildung bis zur Hochschulreife (Abitur, Matura). Intelligenz wird vorwiegend jedoch erst danach an Hochschulen und Universitäten vermittelt. Weitgehend unabhängig von beiden Wegen geschieht die Allgemeinbildung für eine selbstständige und mitverantwortliche Teilnahme an allen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens, einschließlich der Kultur. Leider wird Herzensbildung staatlich nur nebensächlich behandelt. Sie geschieht vorwiegend im Elternhaus und betrifft hauptsächlich positives mitmenschliches Verhalten.

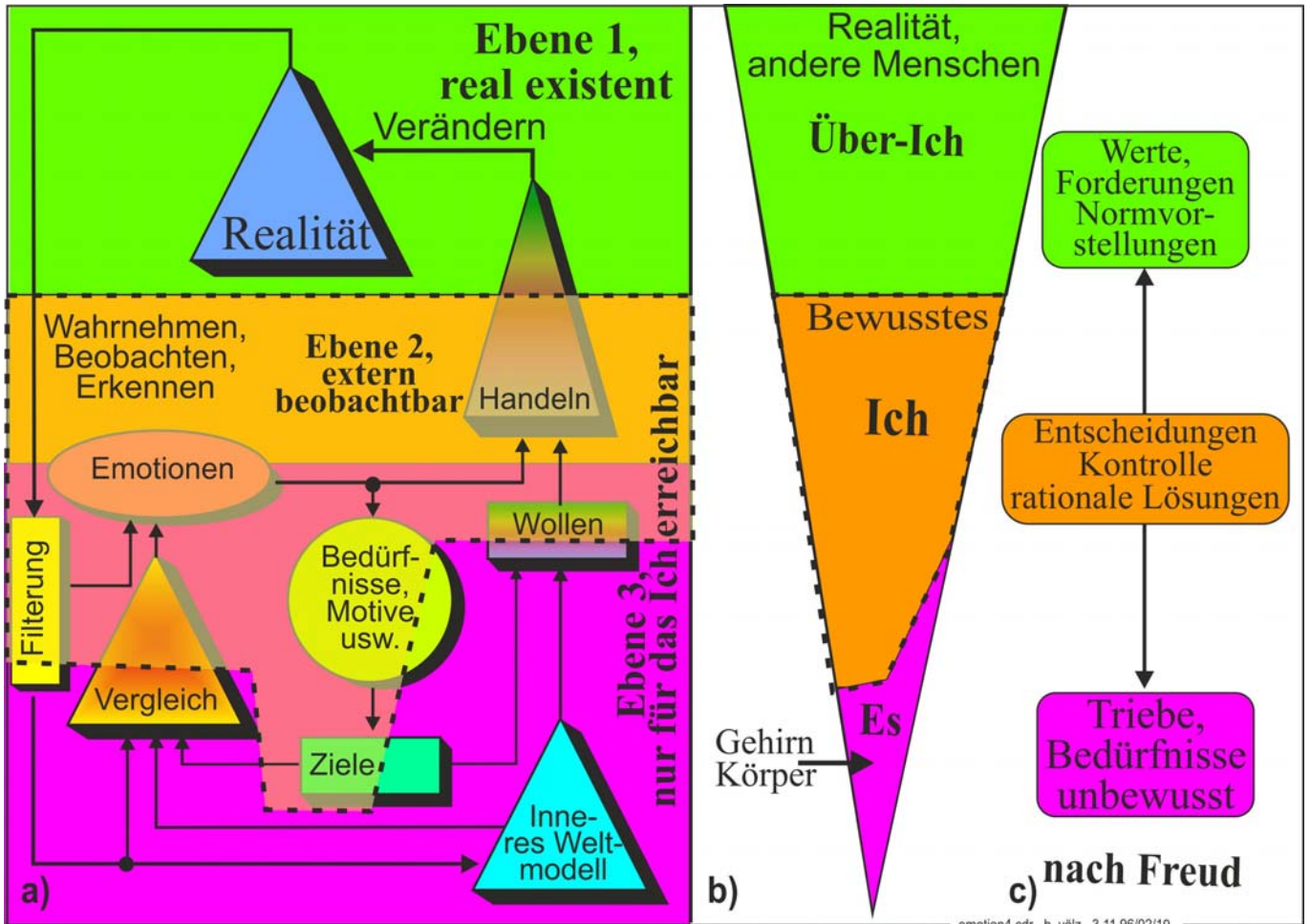


Wissenspyramide.cdr H. Völz 13.7.19

**Bild 67.** Wissenspyramide und die wichtigsten dazugehörigen Begriffe.



Unsere Handlungen betreffen häufig Werte, wie Gerechtigkeit, Tabus, Sitten usw., die vor allem das Zusammenleben in einer Gesellschaft, die häufig Herzensbildung betreffen und daher nur mehr oder weniger gut eingehalten werden. Dabei wird leider zuweilen auch mittels der Sprache gelogen. Auch bei Bildern besteht für Bewertungen häufig eine ähnliche Unschärfe. Insbesondere Bilder, die nur 2- und 3-dimensionale Zusammenhänge aufzeigen werden heute meist nicht verstanden und bereiten dann vielfach erhebliche Schwierigkeiten. Da sich Lösungen meist auch emotional auswirken, sei noch **Bild 68** (a) mit dem 3-Ebenen-Modell eingeordnet, [Völ76]. Die Ergänzungen (b und c) gemäß Freud weisen dann darauf hin, dass Vieles im unterbewussten Es (Gehirn) geschehen kann und das Ich zur Realität vermittelt.



**Bild 68.** Das Modell der Emotionen und die Freudschen Begriffe zur Erklärung von erfolgreich unbewusstem Denken.

Die vielfältigen Ausführungen weisen recht deutlich aus: Das massenweise Fernsehen ist sehr wahrscheinlich die Ursache für das Sinken des IQ gemäß Bild 63, S. 66. Das zunächst vermutete Internet und das Smartphone könnten verspätet ähnlich um 2000 ein zusätzliches Versteilern der Abnahme des IQ bewirkt haben oder erst bewirken. Viele Fakten könnten bereits die Folge sein. Als Beispiele seien nur der Fachkräftemangel, PISA-Studien und die Zunahme der Analphabeten genannt. Das würde zumindest ein gründliches Überdenken und Ändern der Bildungspolitik herausfordern.

## 6. Literatur

- [Asi56] Asimov, I.: The Dead Past. A science fiction short story. Street & Sm. 1956; Als Science-Fiction-Hörspiel: Die verbotene Erfindung. Süddeutscher Rundfunk, 1967
- [Ass00] Assmann, J.: Religion und kulturelles Gedächtnis Beck, München 2000
- [Ass97] Assmann, J.: Das kulturelle Gedächtnis. Beck, München 1997
- [Daw87] Dawkins, R.: Der blinde Uhrmacher. Kindler, München 1987
- [Daw94] Dawkins, R.: Das egoistische Gen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1994.
- [Dri72] Drischel, H.: Das neuronale Gedächtnis. Nova acta Leopoldina, Band 37/1, Nr. 206. S. 325-353. Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1972
- [Ebb85] Ebbinghaus, H.: Über das Gedächtnis. Dunker, Leipzig 1885
- [Ern07] Ernst, W.: Das Gesetz des Gedächtnisses. Kulturverlag, Berlin 2007
- [Fis98] Fischer, E. P.: Neue Horizonte Gedächtnis und Erinnerung, Piper. München Zürich 1998
- [Gof99] Goff, J. L.: Geschichte und Gedächtnis. Ullstein, Berlin 1999
- [Jer76] Jerison, H. J.: Paleoneurobiology and evolution of the mind. Sc. American 284 (1976) 1, S. 90 – 101
- [Kap72] Kaplan, R. W.: Der Ursprung des Lebens, Georg Thieme, Stuttgart 1972
- [Kas00] Kasten, E.: Wenn das Gehirn aus der Balance gerät: Halluzinationen. Spektrum der Wissenschaft (2000), H. 12, S. 64
- [Kli83] Klix, F.: Erwachendes Denken. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1983. 2. Aufl. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg - Berlin - Oxford 1993
- [Ler79] Lerner, A.: Grundzüge der Kybernetik. Verlag Technik, Berlin 1970
- [Mül90] Müller, J.: Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften - Systematik, Heuristik, Kreativität. Springer - Verlag. Heidelberg u.a. 1990
- [Sch51] Schrödinger, E.: Was ist Leben. Franke, Bern 1951
- [She88] Sheldrake, R.: Das Gedächtnis der Natur. Scherz - Verlag Bern - München - Wien, 4. Aufl. 1993. Engl. Original: "The Presense of the Past" 1988.
- [Ste63] Steinbuch, K.: Über die künftigen Entscheidungen der Nachrichtenverarbeitungstechnik, ETZ-A 84 (1963), S. 485-493
- [Szi29] Szillard, I.: Über die Entropieminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen. Zeitschr. für Physik 53 (1929) 11/12. S. 840 - 856
- [Völ01] Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Allgemeine Grundlagen für Naturwissenschaft, Technik und Medizin. Shaker Verlag, Aachen 2001
- [Völ03] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information. Bd. 1 Grundlagen und Anwendung in Natur, Leben und Gesellschaft. Shaker Verlag, Aachen 2003
- [Völ05] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information. Bd. 2 Technik und Geschichte vorelektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2005
- [Völ07] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information. Bd. 3 Geschichte und Zukunft elektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2007
- [Völ07a] Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Datenspeicher von der Steinzeit bis ins 21. Jahrhundert. Digitale Bibliothek, Bd. 159, Berlin 2007
- [Völ08] Völz, H.: Kontinuierliche Digitaltechnik. Shaker-Verlag, Aachen 2008
- [Völ17] Völz, H.: Das ist Information. Shaker Verlag, Aachen 2017
- [Völ19] Völz, H.: Das ist Zeit. Shaker Verlag Aachen, 2019

- [Völ65] Völz, H. Versuch einer systematischen und perspektivischen Analyse der Speicherung von Informationen. Die Technik 20 (1965), H. 10, S. 650 - 659
- [Völ67] Völz, H.: Betrachtungen zum Zusammenhang von Speicherdichte und Zugriffszeit. Wiss. Zeitschrift f. Elektrotechnik 9 (1967) H. 2, S- 95 - 107
- [Völ75] Völz, H.: Beitrag zur formalen Musikanalyse und -synthese. Beiträge zur Musikwissenschaft 17 (1975) H. 2/3, S. 127 - 154
- [Völ75a] Völz, H.: Anwendung magnetischer Materialien für die Speicherung von Bildern. J. Signal-AM 3 (1975) H. 4, S. 257 – 287
- [Völ76] Völz, H.: Diskussionsbeitrag zur Information und Emotion. In: Philosophische und ethische Probleme der Biowissenschaften. Akademie - Verlag. Berlin 1976, S. 269 - 277
- [Völ79] Völz, H.: Allgemeine Systematik und Grenzen der Speicherung. Die Technik 34 (1979) H. 12, S. 658-665
- [Völ82] Völz, H.: Information I - Studie zur Vielfalt und Einheit der Information. Akademie Verlag, Berlin 1982
- [Völ89] Völz, H.: Elektronik - Grundlagen - Prinzipien - Zusammenhänge. 5. Aufl. Akademie Verlag, Berlin 1989
- [Völ91] Völz, H.: Grundlagen der Information. Akademie - Verlag, Berlin 1991
- [Völ96] Völz, H.: Die Welt in Zahlen und Skalen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg , Berlin, Oxford 1996
- [Wei77] Weizenbaum, J.: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft. Suhrkamp, Frankfurt/M, 1977
- [Wer89] Wersig, G.: Organisation-Kommunikation: Die Kunst, ein Chaos zu organisieren. FBO - Fachverlag für Büro- und Organisationstechnik GmbH. Baden-Baden 1989.
- [Wie48] Wiener, N.: "Cybernetics or control and communication in the animal and the machine" Hermann, Paris 1948. "Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und in der Maschine", Econ - Verlag, Düsseldorf - Wien 1963. Econ - Verlag, Düsseldorf - Wien - New York - Moskau, 1992
- [www1] <https://programm.ard.de/TV/arte/umwelthormone---verlieren>  
[https://www.focus.de/wissen/mensch/intelligenz/durschnitts-iq-sinkt-die-menschheit-wird-immer-duemmer\\_id\\_9103645.html](https://www.focus.de/wissen/mensch/intelligenz/durschnitts-iq-sinkt-die-menschheit-wird-immer-duemmer_id_9103645.html)  
<https://www.welt.de/kmpkt/article168685677/Warum-die-Menschheit-scheinbar-wieder-duemmer-wird.html>
- [www2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Traum>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Tagtraum>
- [www3] <https://de.wikipedia.org/wiki/68er-Bewegung>
- [www4] <https://de.wikipedia.org/wiki/Judetum>
- alle download 1.7.19*

## 7. Natur-Konstanten

|   |                     |  |
|---|---------------------|--|
| absoluter Nullpunkt .....                             | $T_0$               | $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$                        |
| Avogadro-Konstante (früher Loschmidt-Zahl) $N_A$      |                     | $6,0221367 \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$              |
| Avogadro-Konstante (alt) .....                        | $A$                 | $2,68699 \cdot 10^{25}\text{ m}^{-3}$                  |
| Bohrscher Radius .....                                | $r_B$               | $5,29177249 \cdot 10^{-11}\text{ m}$                   |
| Bohrsches Magneton .....                              | $\mu_B$             | $9,274078 \cdot 10^{-24}\text{ Am}^2$                  |
| Boltzmann-Konstante .....                             | $k_B$               | $1,38065812 \cdot 10^{-23}\text{ JK}^{-1}$             |
| Compton-Wellenlänge des Elektrons .....               | $\lambda_e$         | $2,426 \cdot 10^{-12}\text{ m}$                        |
| dielektrische Konstante .....                         | $\epsilon_0$        | $8,85418782 \cdot 10^{-12}\text{ Fm}^{-1}$             |
| elektrochemisches Äquivalent .....                    | $1\text{ g/Ah}$     | $3,6 \cdot 10^{-3}\text{ g/As}$                        |
| Elementarladung .....                                 | $e_0$               | $1,60217733 \cdot 10^{-19}\text{ C}$                   |
| Energie des Elektrons (Ruhmasse) .....                | $W_0$               | $81,872 \cdot 10^{-15}\text{ Ws}$                      |
| Energie des Protons (Ruhmasse) .....                  | $W_p$               | $1,5033 \cdot 10^{-10}\text{ Ws}$                      |
| Erdbeschleunigung .....                               | $g$                 | $9,80665\text{ ms}^{-2}$                               |
| Faraday-Konstante .....                               | $F$                 | $9,6485309 \cdot 10^3\text{ Cmol}^{-1}$                |
| Flußquant .....                                       | $h/2e$              | $2,0678345 \cdot 10^{15}\text{ Vs}^{-1}$               |
| Gaskonstante .....                                    | $R_0$               | $8,314510\text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$               |
| Gravitationskonstante .....                           | $G$                 | $6,6725985 \cdot 10^{-5}\text{ Nm}^2\text{g}^{-2}$     |
| Josephson-Verhältnis .....                            | $v$                 | $4,835939 \cdot 10^{14}\text{ HzV}^{-1}$               |
| Kernmagneton .....                                    | $\mu_N$             | $5,05078661 \cdot 10^{-27}\text{ JT}^{-1}$             |
| klassischer Atomradius .....                          | $r_{\text{klass}}$  | $2,82 \cdot 10^{-15}\text{ m}$                         |
| Lichtgeschwindigkeit (im Vakuum) .....                | $c_0$               | $2,99792457 \cdot 10^8\text{ ms}^{-1}$                 |
| Massenverhältnis (Proton/Elektron) .....              | $m_p/m_e$           | $1,83610 \cdot 10^3$                                   |
| molares Normvolumen (ideales Gas) .....               | $V_{\text{mol}}, N$ | $2,241383 \cdot 10^{-2}\text{ m}^3\text{mol}^{-1}$     |
| Molvolumen .....                                      | $V_{\text{mol}}$    | $2,241 \cdot 10^{-2}\text{ m}^3$                       |
| Permeabilitätskonstante .....                         | $\mu_0$             | $1,25663706 \cdot 10^{-6}\text{ Hm}^{-1}$              |
| Planck-1. Strahlungskonstante .....                   | $c_1$               | $3,74177492 \cdot 10^{-16}\text{ W}$                   |
| Planck-2. Strahlungskonstante .....                   | $c_2$               | $0,01438769\text{ Km}$                                 |
| Plancksches Wirkungsquantum .....                     | $h$                 | $6,62607554 \cdot 10^{-34}\text{ Js}$                  |
| relative Atommasse (Bezug auf $^{12}\text{C}$ ) ..... | $m_r$               | $1,0008$   |
| Ruhmasse des Elektrons .....                          | $m_e$               | $9,10938975 \cdot 10^{-28}\text{ g}$                   |
| Ruhmasse des Neutrons .....                           | $m_n$               | $1,67492861 \cdot 10^{-24}\text{ g}$                   |
| Ruhmasse des Protons .....                            | $m_p$               | $1,67262311 \cdot 10^{-24}\text{ g}$                   |
| Ruhmasse des Wasserstoffatoms .....                   | $m_H$               | $1,6735 \cdot 10^{-24}\text{ g}$                       |
| Rydberg-Frequenz .....                                | $R$                 | $3,28984195 \cdot 10^{15}\text{ Hz}$                   |
| Rydberg-Konstante .....                               | $R_\infty$          | $1,09737315 \cdot 10^7\text{ m}^{-1}$                  |
| Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante .....            | $\alpha$            | $7,29735308 \cdot 10^{-3}$                             |
| spezifische Ladung .....                              | $e_0/m_e$           | $1,758820 \cdot 10^8\text{ Cg}^{-1}$                   |
| Stefan-Boltzmann-Konstante .....                      | $\sigma$            | $5,6705119 \cdot 10^{-8}\text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  |
| Quanten-Hall-Widerstand ( $h/e_0^2$ ) .....           | $R_H$               | $2,58128056 \cdot 10^5\text{ }\Omega$                  |
| Wellenwiderstand des Vakuums .....                    | $Z_0$               | $376,730313\text{ }\Omega$                             |
| Wiensche Konstante .....                              | $b$                 | $2,8978 \cdot 10^{-3}\text{ Km}$                       |
| Zeeman-Aufspaltungskonstante .....                    | $z$                 | $4,6685987 \cdot 10^{-2}\text{ Asm}^{-1}\text{g}^{-1}$ |



## 8. Sachwortverzeichnis

- 85%-Regel 62
- Aminosäuren 12
- Änderungen 4
- ASIC 58
- Atome je Bit 51
- ATP 10
- Aufzeichnung, Grenze 35
- Averbal 70
- Axiomatik 69
- Band 53
- Benzolring 69
- Berge sammeln, 2
- Bewusstsein 2, 63
- Bildung 72
- Billard 59
- binär 32
- Bio-Kodierung 11
- CPU-Speicher 50
- Daten**, -banken 47
  - # Gültigkeit 51
  - # -rate,-menge 50
- Déjà-vu 27
- Dekodierung 14
- Denken 63
- Digitalisierung, kontinuierliche 67
- DNS 10
- Doppelhelix 13
- Emotion 72
- Energie 1, 5f.
- Es 71
- Eselsbrücken 26
- Fälschungen 26
- Festplatten 47
- Frage-Typen 71
- Gedächtnis** 18ff.
  - # Arten 21
  - # deklativ 20
  - # Dinge 31
  - # eidetisch 24
  - # emotional 25
  - # episodisch 20
  - # Gegenwart GG 22, 24
  - # Geschichte 30
  - Gedächtnis**, individuell 28
    - # kollektiv 28
    - # kommunikativ 28
    - # kulturell 28
    - # Kurzzeit KZG 24
    - # Langezeit LZG 22, 24
    - # priming 20
    - # prozedural 20
    - # semantisch 20
    - # Todesspeicher 25
    - # Umlaufspeicher 22
    - # und Zeit 25ff.
    - # utilitär 31
    - # vereintes 28
    - # Zeitsufen, drei 24
  - Gehirn, Struktur u. Funktionen 19
  - Geschichtsschreibung 28
  - GG Gegenwartsgedächtnis 22, 24
  - Grenzzelle 35
  - Halbschlaf 68
  - Holografie 40ff.
  - Hologramm, Auflösung 42
  - Ich 73
  - Informat 55
  - Information 2
  - Informer 55
  - Intelligenz** 67, 70ff.
    - # künstliche 70, 72
  - Ionenpumpen 16
  - IQ, Abahme 66ff
  - Kekule 69
  - Kode-Tabelle, Genetik 11
  - Kodierung, technisch 15
  - Konstanten, Natur u. Mathematik 8, 73
  - kontinuierlich 32
  - Kreativität 67 ff, 70ff.
  - Kuczynski 60
  - Kybernetik 2
  - KZG Kurzzeitgedächtnis 24
  - Lernen 55
  - LZG Langzeitgedächtnis 22, 24
  - Materie 2
  - Medien, Offline, Online 38

- Meme 29ff.
- Mode, Kleid 60
- m-Werte 32
- Neuron 17
- Nukleotid 10
- Phasen, Erkennung 23
- PLA 58
- Platte 53
- PLD 58
- Priming 20
- Prognose 58ff
- PROM 58
- RAM 56
- Redundanz, Volumen 52
- ROM 56
- Rompe 60
- Rückrechnung 58 ff
- Schachspiel 59
- Schaltung**, sequentiell 46
  - # kombinatorisch 46
- Semiotik 7
- Speicher** 46
  - # als Kanal 56
  - # Anordnung 53
  - # assoziativ 39ff.
  - # Beständigkeit 36
  - # Bewegung 38
  - # Definition 1
  - # Dichte 36
  - # egotrop 9
  - # elektronisch, Überblick 33
  - # Energie 57
  - # Etappen 8
  - # genetisch 9ff.
  - # gesellschaftlich, Überblick 28
  - # gesellschaftlich 27ff.
  - # Grenzen 34ff
- Speicher**, indirekt 6
  - # Kapazität 47
  - # Kapazität, Entwicklung 47
  - # Kendaten 47ff.
  - # Laufzeitkabel 57
  - # Menge 53
  - # morphologisch 25
  - # neuronal 16ff.
  - # paradox 65
- Speicher**, physikalisch-chemisch 8
  - # Preis, Entwicklung 50
  - # technisch 31ff.
  - # um 1970 45
  - # Varianten, Entwicklung 62
  - # vernetzt 61ff., 64
  - # W-Information 55
  - # Zelle 32ff.
- Sprache 63
- Ständigkeit 2f, 7f
- Stoff 1f.
- Synapse 17
- Synapse, Lernen 24
- Tagtraum 67
- Technik, Entwicklung, Geschichte 42ff.
- t-kontinuierlich 32
- Todesspeicher 25
- Traum 69
- Über-Ich 73
- Uhrmacher, blinder 65
- Vergangenheit, Speichern 26
- Vergessen 26
- Wachstum ressourcenbegrenzt 61
- Wachtraum 69
- Werkzeug 43
- Wiedergabe**, Grenze 35
  - # zerstörend 35
- Wissen** 55
  - # Pyramide 72
- Witz 70
- Wort-Blockierung 22
- Zeichen 7
- Zeit** 2, 4f
  - # Messung 4
- Zelle**, Aufbau 9
- Zelle, Verhalten 13
- Zonenlinse 42
- Zugriff**, Methoden 39
  - # Varianten 37ff.
  - # Zeit 47
- Zylinder, Trommel 53