Vorlesungsmaterial
Prof. Dr. Horst Völz

Information_Neu 3

Dies Material wurde heruntergeladen von horstvoelz.de
Für privatem Gebrauch ist es frei nutzbar; bei Publikationen, Vorträgen usw. ist die Quellenangabe notwendig.
Bei kommerzieller Nutzung usw. ist eine Abstimmung mit mir erforderlich.
Bilder sind in höherer Qualität ca. 2000×3000 Pixel oder *.cdr Version 12 und X6 verfügbar.

Prof. Dr. Horst Völz, Koppenstr. 59, 10243 Berlin, Tel./Fax 030 288 617 08
Email: h.voelz (at) online.de

Abgrenzung

Von den vielen technischen Varianten und Details wird hier nur das inhaltlich Wichtigste berücksichtigt.
Zur Vertiefung können drei umfangreiche Bücher von mir dienen.

In [6]: Das Geschehen im Kosmos und der Erde, zur Genetik, Immunologie, zu den Neuronen sowie dem individuellen und kollektiven Gedächtnis.

In [7]: Zu Schrift, Kunst, Buchdruck, Foto, Film Holografie, Schallaufzeichnung sowie historischen Speichern.

In [4]: Zu den betont elektronischen Speichern und zwar elektronisch, magnetisch (Band + Festplatte), optisch (CD, DVD, bluedisc) für akustische, Video- und Computeranwendungen sowie was eventuell an neuen Techniken zu erwarten ist.

Nur teilweise wird darauf noch einmal im Text konkreter verwiesen.

Alle drei Bänder und ein zusätzlicher Band liegen auch komplett und verlinkt als CD vor [11]

Was gespeichert wird

Speichern ist im Deutschen ein Begriff mit recht hoher ***Abstraktion.***
Gespeichert werden kann und wird Dreierlei:

1. **Stoff**, Material, Waren, Lebensmittel u.a.; im Getreidespeicher, Materiallager, Gebäude, Raum oder Behältnis
   Dies erfolgt ***unmittelbar***: Das Objekt wird selbst gespeichert
2. **Energie**, u.a. Feder, Schwungrad, elektrochemische Batterie, Treibstofftank für Benzin, Öl usw.
   Nur ***mittelbar*** möglich, gespeichert wird der ***Energieträger***
   zur ***Rückgewinnung*** der Energie muss das ***passende System*** zu Verfügung stehen
3. **Information bzw. Wissen** in drei Varianten (Details später), als

   - **Beständiges**, wie Daten, Fakten, Texte, Bilder (Funktionen) → beständig, unverändert in der Zeit
   - ***Abläufe***, wie Schall, Video, Prozesse, Geschehen → zeitlich veränderlich
   - ***Funktionen, Algorithmen***, die bei der Wiedergabe ausgeführt werden müssen

   Es wird aber immer ***nur*** der ***Informationsträger gespeichert,***
   genau deshalb ist die ***Wiedergabe*** mit dem ***„passenden System“*** notwendig.

Ein ***Zeichen verweist*** immer ***auf Anderes. Gespeichertes*** ist (vereinfachte) ***Kopie*** von vorhanden ***Gewesenem***.
Es ***verlangt seine Wiedergabe***, die dann dem „Original“ möglichst exakt entsprechen soll.
Beim Speichern interessiert daher ***nicht der Inhalt***, sondern ***nur die Kopie*** des Originals.
Deshalb sind beim Speichern nur stofflich-energetische Grundlagen wichtig.

Speichern – Etymologie

Zur ***Herkunft*** des Begriffes und seine Verwendung in ***anderen Sprachen*** gilt die folgende kurze Übersicht

Lateinisch *spica*, die Ähre, ***spicarium*** Vorratshaus

Deutsch recht früh: der Kornspeicher (Gebäude)
später Speicher etwa synonym mit Lager/Lagerung für Waren und Gegenstände
neu: technische Einrichtungen: wie Warmwasserspeicher, Speicherbecken usw.
erst ab den 1950er Jahren durch die **Informationstechnik** auch Information-, Daten-Speicher
verwandte Begriffe: Andenken, Archiv(ierung), Aufzeichnung, Denkmal, Erinnerung, Gedächtnis, Gedenken, Museum, Protokoll, Sammlung

Englisch: store (Vorrats- und Warenhaus) → storehouse, warehouse, storage (Lager als Raum für Geld, Waren usw.), storage battery = Akkumulator (Sammler elektrisch)
verwandte Begriffe: amnesia, attic, cache, elevator, granary, lethe, loft, mem, memory, mention, mind, mnemonic, pantheon, recollection, record(ing), register, reminder, reservoir, retrospection, stockpile

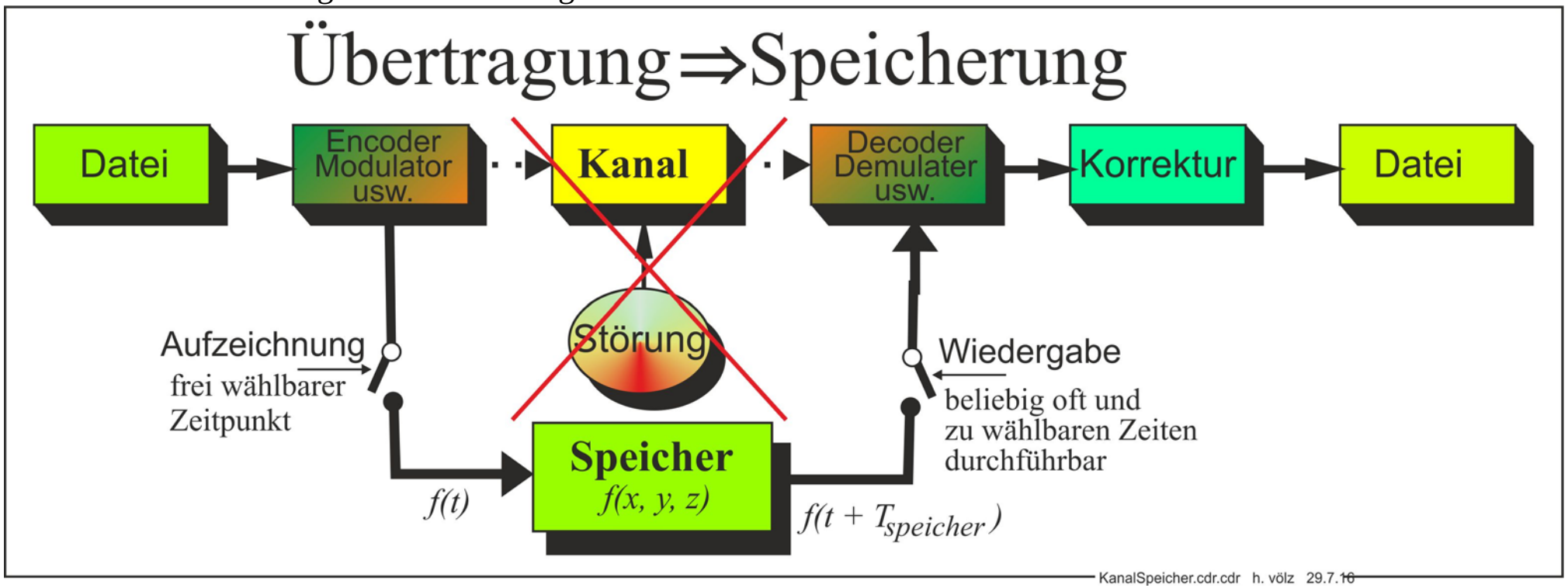
Französisch: commémorative, entrepôts, grenier, mémoire, rappel, réminiscence, silos, souvenir

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

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

Besonderheiten

In ***vielen Details*** entspricht die Speicherung der ***Übertragung*** gemäß der S-Information.
Daher können auch für sie viele Ausagen, z.B. der ***Fehlerbehandlung und Komprimierung*** übernommen werden.
Jedoch wird durch sie der eigentliche Kanal unterbrochen durch ***zwei Schalter*** und den ***eigentlichen Speicher*** ersetzt.
Der erste Schalter bewirkt die ***Aufzeichnung*** in den Speicher, der zweite seine ***Auslesung***
So wird da unsprünliche Zeitsiganal $f(t)$ in einen örtlichen und stabilen Zustand $f(x, y, z)$ überführt.
Bei der Auslösung der Wiedrrgabe wird dieser Zutand in ein Signal $f(t + T_{speicher})$ zurückgewandelt
Dabei ist die ***Zeitverschiebung*** $T_{Speicher}$ frei wählbar.
Auerdem kann die Wiergabe meist beliebig oft und zu frei wählbaren Zeiten ***wiederholt*** werden.



Vorbemerkung

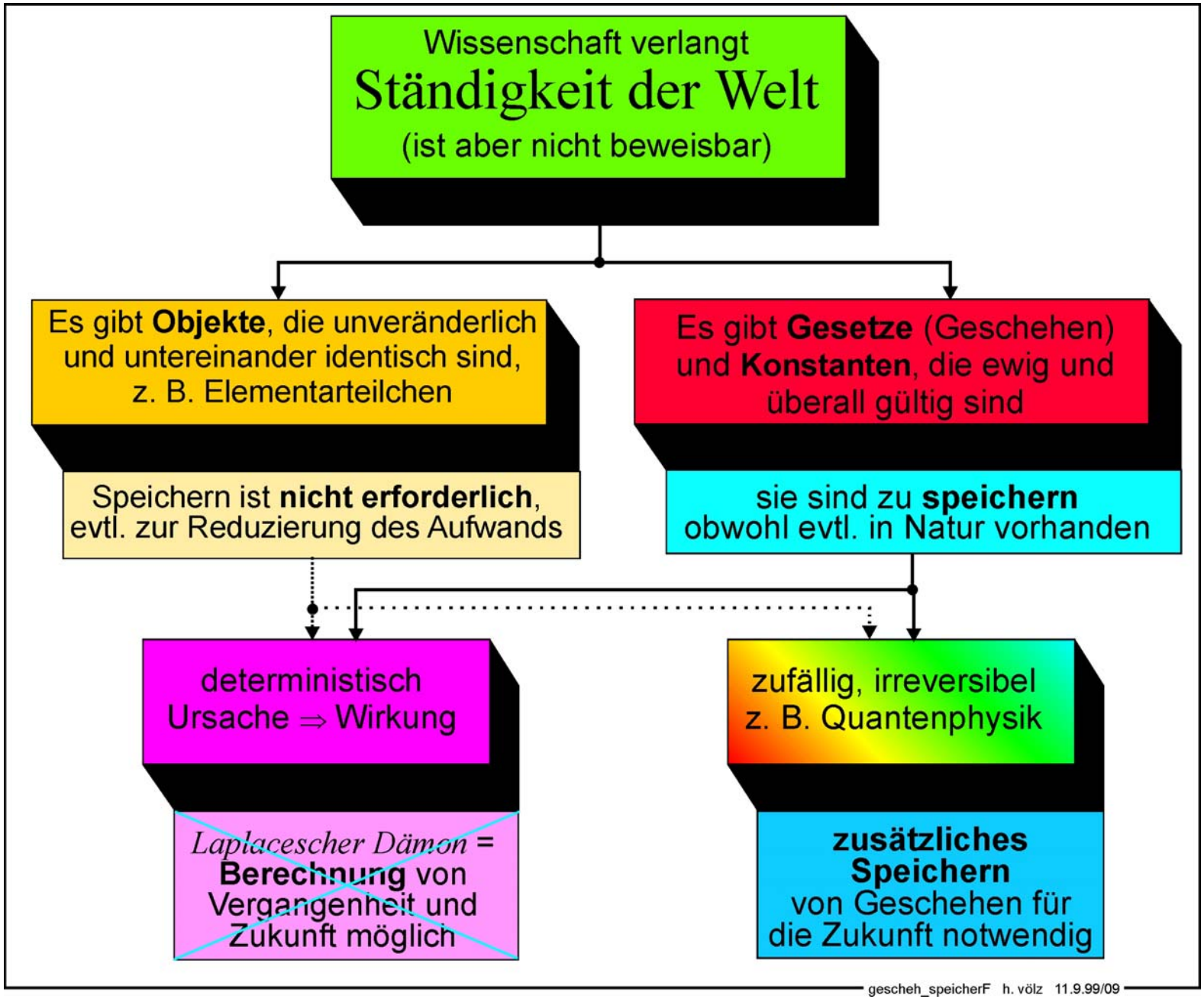
Was an ***Information*** so gespeichert wird, ist eigentlich ***nur noch potentiell vorhanden***, das dafür aber über lange Zeit
Damit sie wieder – wie notwendig – „wirksam“ wird, muss sie wiedergegeben, also zurück erzeugt werden
Formal ***ähnelt*** sie daher der ***potentiellen Energie***, die zwar existiert, aber nicht unmittelbar wirksam wird.
Daher wurde für sie der Begriff „P-Information“ eingeführt.
Damit sind für die Speicherung ***die Zeiten*** bei der Aufzeichnung und der Wiedergabe wesentlich.
Dabei genügt es für die Zeit vollauf, sie einfach ***linear ablaufend*** anzunehmen.
So werden physikalische Grundlagen der ***Realität*** eine wichtige, ja ***notwendige Voraussetzung***
Neben der Zeit existieren noch die ***drei Raumkoordinaten.***

Die zeitliche ***Evolution der Welt*** begann mit dem Urknall und bewirkte ständig Änderungen.
Sie betreffen primär und fast ausschließlich Energie und Stoff.
Dabei entstanden und entstehen ***stabile Strukturen*** u. a. ***Teilchen*** und Gesetze (letztere existieren vielleicht vorher)
Die damit zusammenhängende ***Ständigkeit*** ist eine fundamentale Grundlage aller Naturbeschreibungen.
Dazu muss es ***ewige und überall gültige Daten und Gesetze*** (gespeichert wo?) geben
Unsere großen ***Erfahrungen und Erfolge*** mit ihnen, geben uns hierzu ohne weiteres Wissen sehr viel Anlass
Außerdem ist für ***jegliche Wissenschaft*** solche ***„Ständigkeit“*** eine ***grundlegende Vorraussetzung.***
Sie kann aber ***niemals bewiesen werden***, muss einfach ***vorausgesetzt*** werden
Teilweise kann sie als ***„schwache“ Variante*** des **LAPLACE-*Dämons*** angesehen werden.

So ergibt sich das folgende Bild

Da gewisse ***Objekte*** immer unveränderlich vorhanden sind, ist für sie eigentlich keine „zusätzliche“ Speicherung erforderlich. Ihre „Daten“ können jederzeit direkt durch Messung abgerufen werden. Doch dafür könnte der Aufwand größer sein, als wenn sie gespeichert vorliegen

Deutlich anders ist es mit den „ewigen“ Gesetzen. Sie sind zwar immer vorhanden und wirksam, aber keiner weiß ob und wo sie abrufbar gespeichert sind. Daher müssen sie für ihre Anwendung als „bekanntes“ Wissen gespeichert werden.

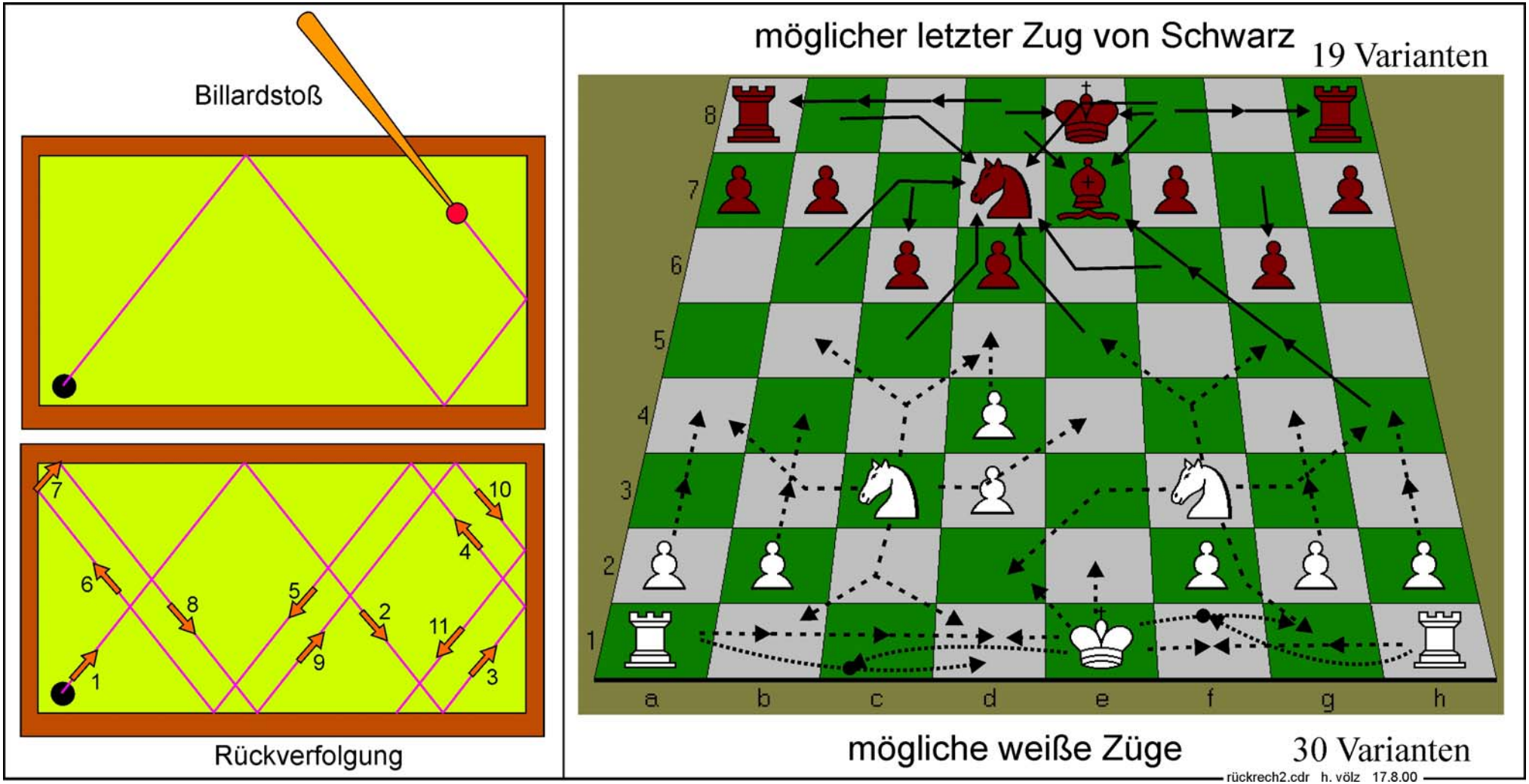


Probleme der Vergangenheit

Infolge des eindeutig gerichteten Zeitablaufes steht die ***Vergangenheit immer unabänderlich fest***
Dennoch kann oder muss sie ***uns nicht bekannt sein***
Das belegen u.a. die ***Archäologie, Kriminalistik, Geschichtsschreibung*** usw.
Entwickelt wurden aber nur Gesetze zur ***Berechnung von Zukünftigen, wir wollen wissen, was uns bevor steht***
Die Berechnungen ermöglichen häufig ***gültige Vorhersagen*** für die Zukunft und sind oft ***lebenswichtig***
Doch ***Rückrechnungen*** wurden kaum entwickelt und sind höchstens teilweise, oft aber gar nicht möglich
Sie dazu das folgende Bild:

So kann der ursprüngliche Stoßort bei ***Billard*** nicht mittels einer Rückrechnung aus Geschwindigkeit und Richtung bestimmt werden. Sie würde bis ins unendliche reichen!

Bei einer Stellung im ***Schachspiel*** können wir Vorrausagen über den nächsten Zug machen, aber kaum Aussagen über den letzten Zug, oft können wir nicht einmal entscheiden, wer zuletzt gezogen hat.

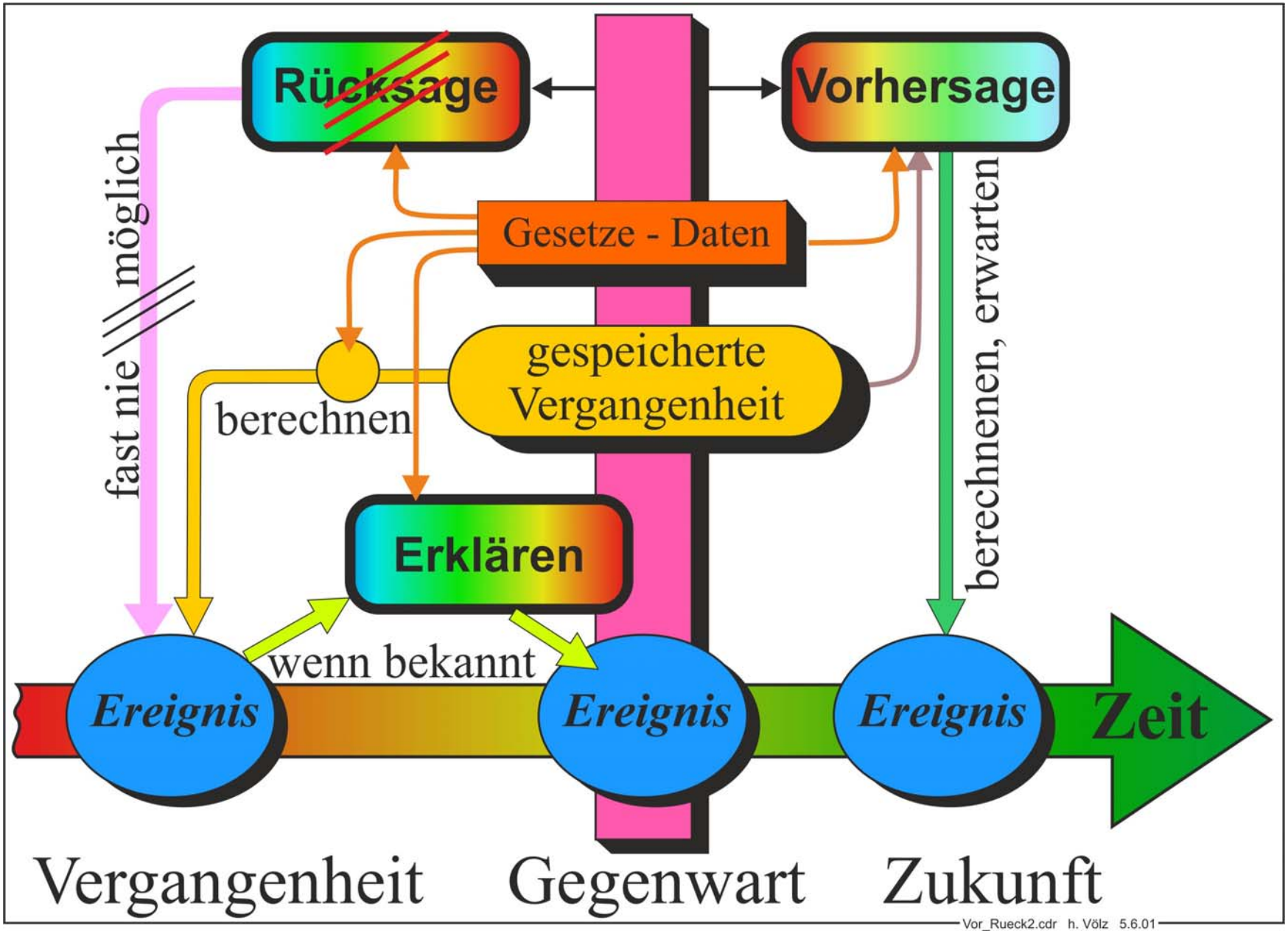


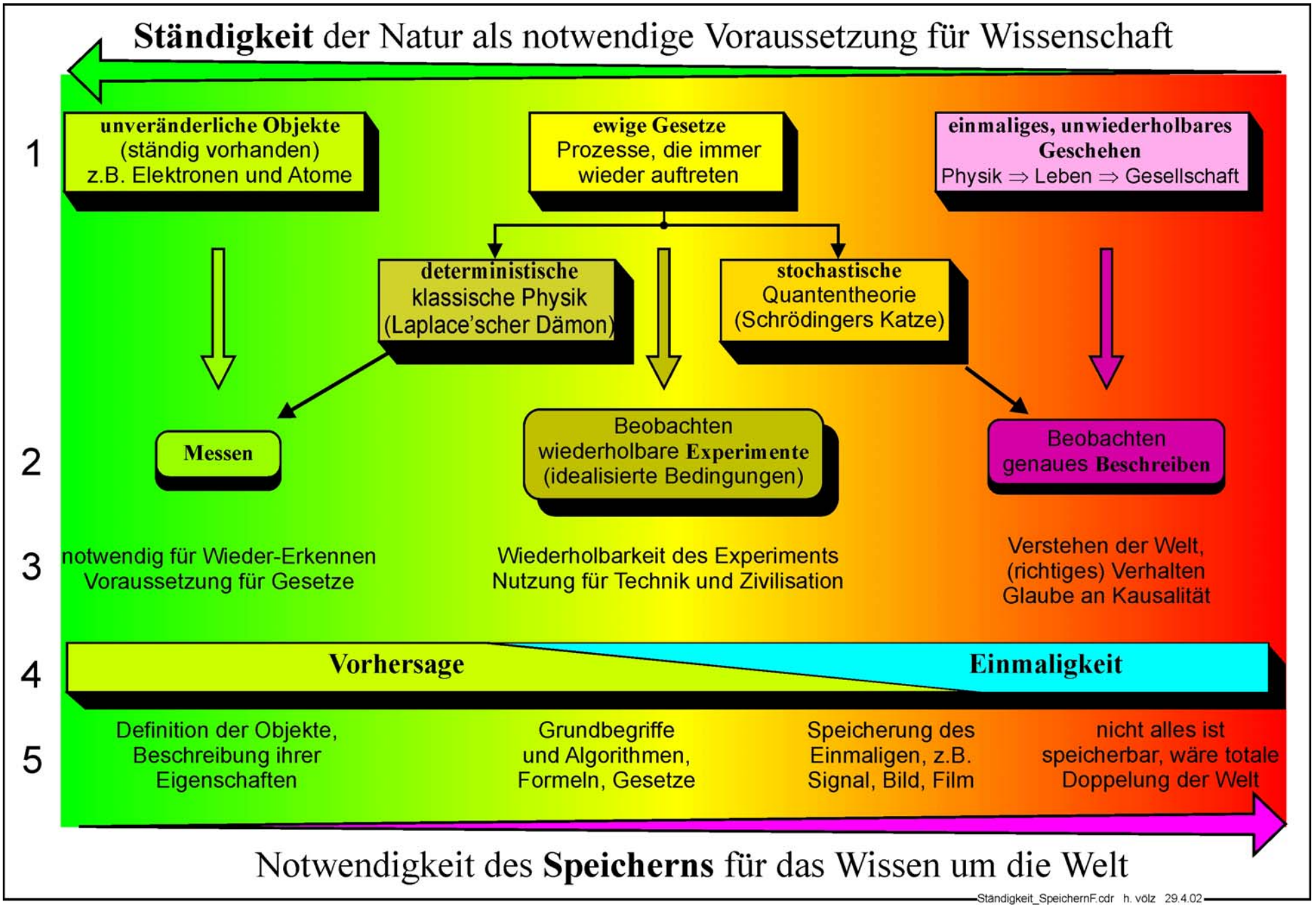
eachte: Rein formal sind Ausnahmen denkbar. Die vielleicht erste hypothetische Variante hat 1895 HERBERT GEORGE WELLS, (1866 – 1946) mit seiner ***Zeitmaschine*** diskutiert. Heute werden Wurmlöcher in der Zeit usw. diskutiert. Wichtig ist aber immer, dass wir dabei in der Vergangenheit nicht ändern dürfen. Doch wieweit wird das schon allein die Beobachtung bewirken?!

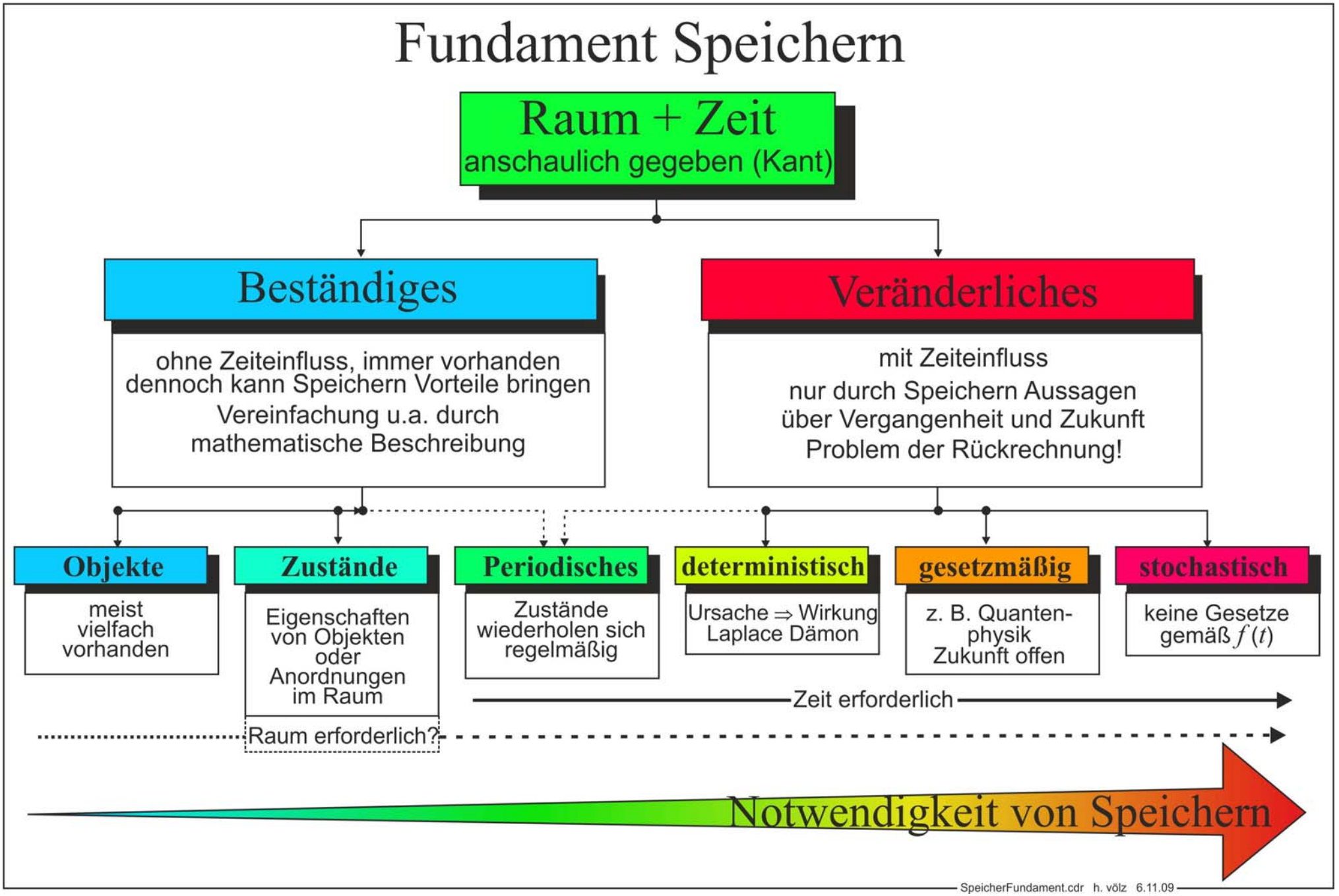
Das Bild rechts zeigt den Zusammen-hang zwischen ***Rück- und Vorher-Sagen***

Damit wird deutlich, dass für viele Aus-sagen zur Vergangenheit ***gespeicherte Aufzeichnun-gen (Spuren) notwendig sind***

Es wird durch das folgende Bild bzgl. der Realität ergänzt.

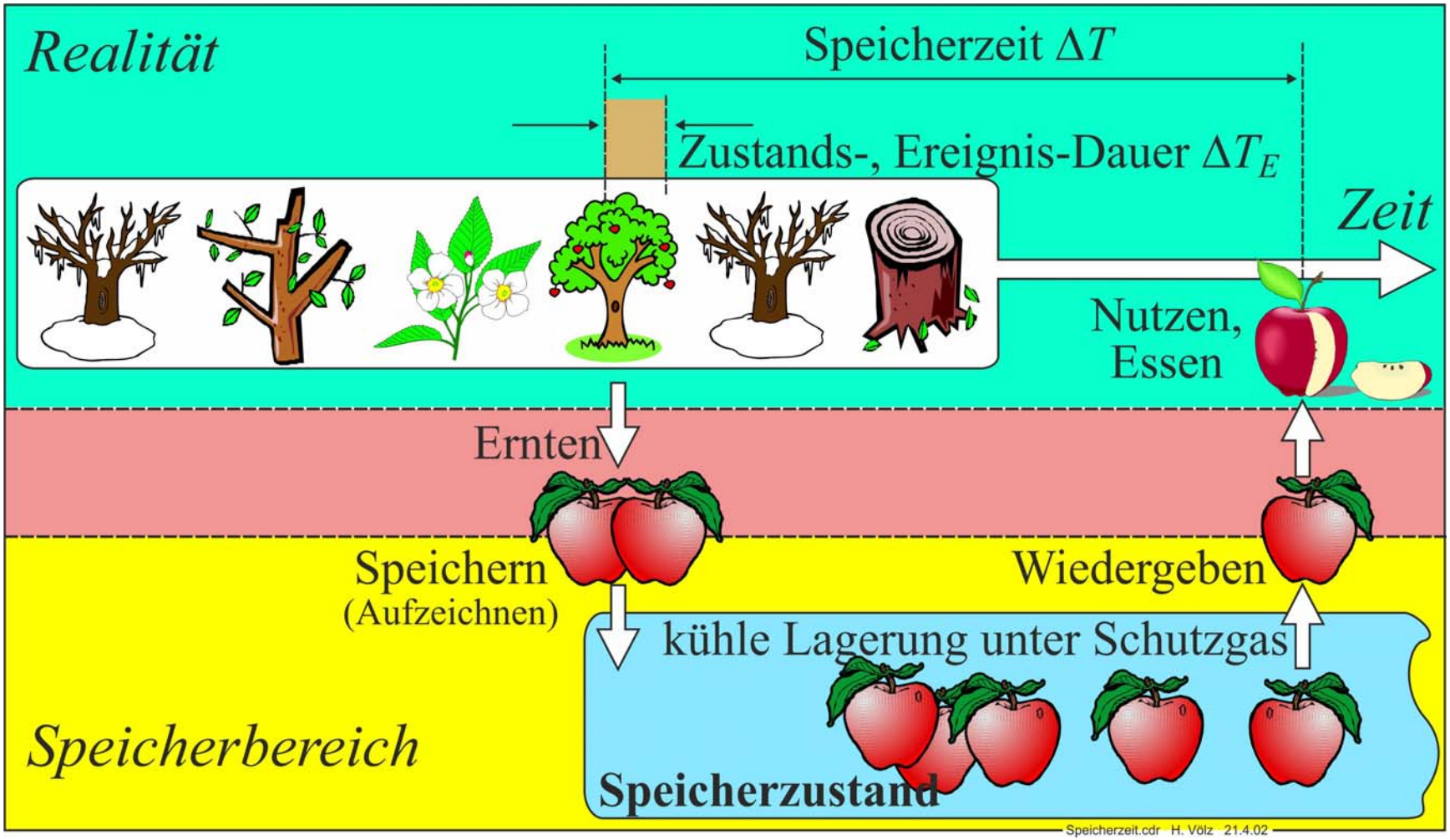



Ständigkeit der Natur als notwendige Voraussetzung für Wissenschaft
1
unveränderliche Objekte
(ständig vorhanden)
z.B. Elektronen und Atome
ewige Gesetze
Prozesse, die immer
wieder auftreten
einmaliges, unwiederholbares
Geschehen
Physik ⇒ Leben ⇒ Gesellschaft
deterministische
klassische Physik
(Laplace'scher Dämon)
stochastische
Quantentheorie
(Schrödingers Katze)
2
Messen
Beobachten
wiederholbare Experimente
(idealisierte Bedingungen)
Beobachten
genaues Beschreiben
3
notwendig für Wieder-Erkennen
Voraussetzung für Gesetze
Wiederholbarkeit des Experiments
Nutzung für Technik und Zivilisation
Verstehen der Welt,
(richtiges) Verhalten
Glaube an Kausalität
4
Vorhersage
Einmaligkeit
5
Definition der Objekte,
Beschreibung ihrer
Eigenschaften
Grundbegriffe
und Algorithmen,
Formeln, Gesetze
Speicherung des
Einmaligen, z.B.
Signal, Bild, Film
nicht alles ist
speicherbar, wäre totale
Doppelung der Welt
Notwendigkeit des Speicherns für das Wissen um die Welt
Ständigkeit_SpeichernF.cdr h. völz 29.4.02


Fundament Speichern
Raum + Zeit
anschaulich gegeben (Kant)
Beständiges
ohne Zeiteinfluss, immer vorhanden
dennoch kann Speichern Vorteile bringen
Vereinfachung u.a. durch
mathematische Beschreibung
Veränderliches
mit Zeiteinfluss
nur durch Speichern Aussagen
über Vergangenheit und Zukunft
Problem der Rückrechnung!
Objekte
meist
vielfach
vorhanden
Zustände
Eigenschaften
von Objekten
oder
Anordnungen
im Raum
Periodisches
Zustände
wiederholen sich
regelmäßig
deterministisch
Ursache ⇒ Wirkung
Laplace Dämon
gesetzmäßig
z. B. Quanten-
physik
Zukunft offen
stochastisch
keine Gesetze
gemäß f (t)
Zeit erforderlich
Raum erforderlich?
Notwendigkeit von Speichern
SpeicherFundament.cdr h. völz 6.11.09

Ein triviales, betont stoffliches Beispiel

Äpfel sind ein vergängliches Gut. Dennoch sind sie uns heute jederzeit genießbar verfügbar.
Dazu werden sie möglichst unveränderlich unter besonderen Bedingungen (kühl, Schutzgas) gelagert (gespeichert)



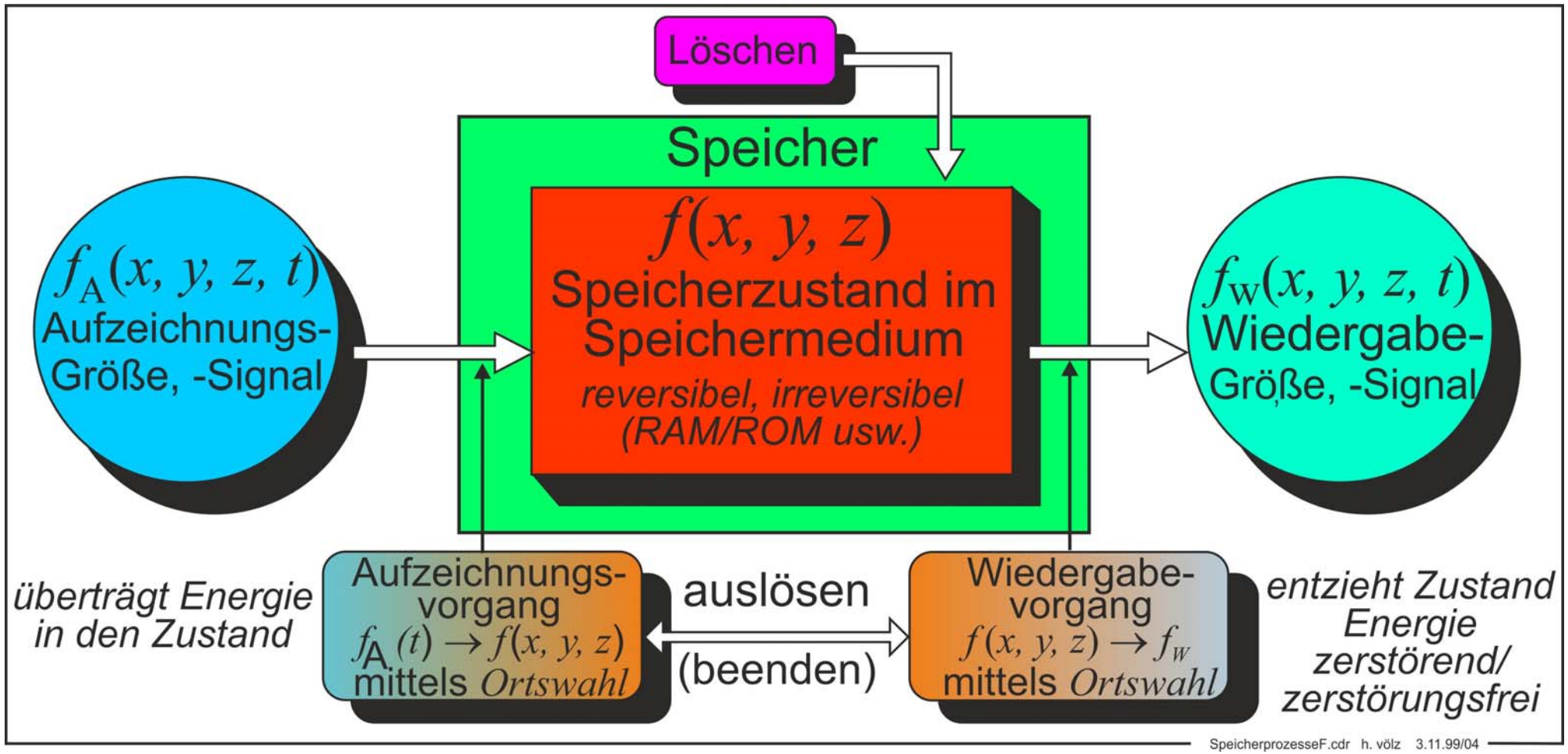
Speicherung von Information

Das gezeigte Beispiel kann leicht auf die Speicherung von Information übertragen werden.
Dafür ist dann der elektronische Fotoapparat ist ein typisches Beispiel:
Seine Optik bildet das Aufzunehmende auf einen Sensor ab.
Durch Drücken des ***Auslösers*** werden die entsprechenden Daten auf einen Speicherchip übertragen.
Durch einen anderen Tastendruck werden die zuvor aufgenommenen Bilder auf dem ***Display sichtbar*** gemacht.
Zur Weiterverarbeitung und -verwendung lassen sich die Daten anderweitig hin übertragen.
Für neue Aufnahmen muss der Speicherchip im Fotoapparat gegebenenfalls ***zuvor gelöscht*** werden.
Die Aufzeichnung nimmt also ***Fakten (Informationen, Wissen) der jeweils aktuellen Gegenwart*** auf und hält sie mittels eines irreversiblen Mediums ***für die Zukunft bereit***.
Folglich „überwindet“ (macht scheinbar ungeschehen) Speicherung den linearen Zeitablauf.

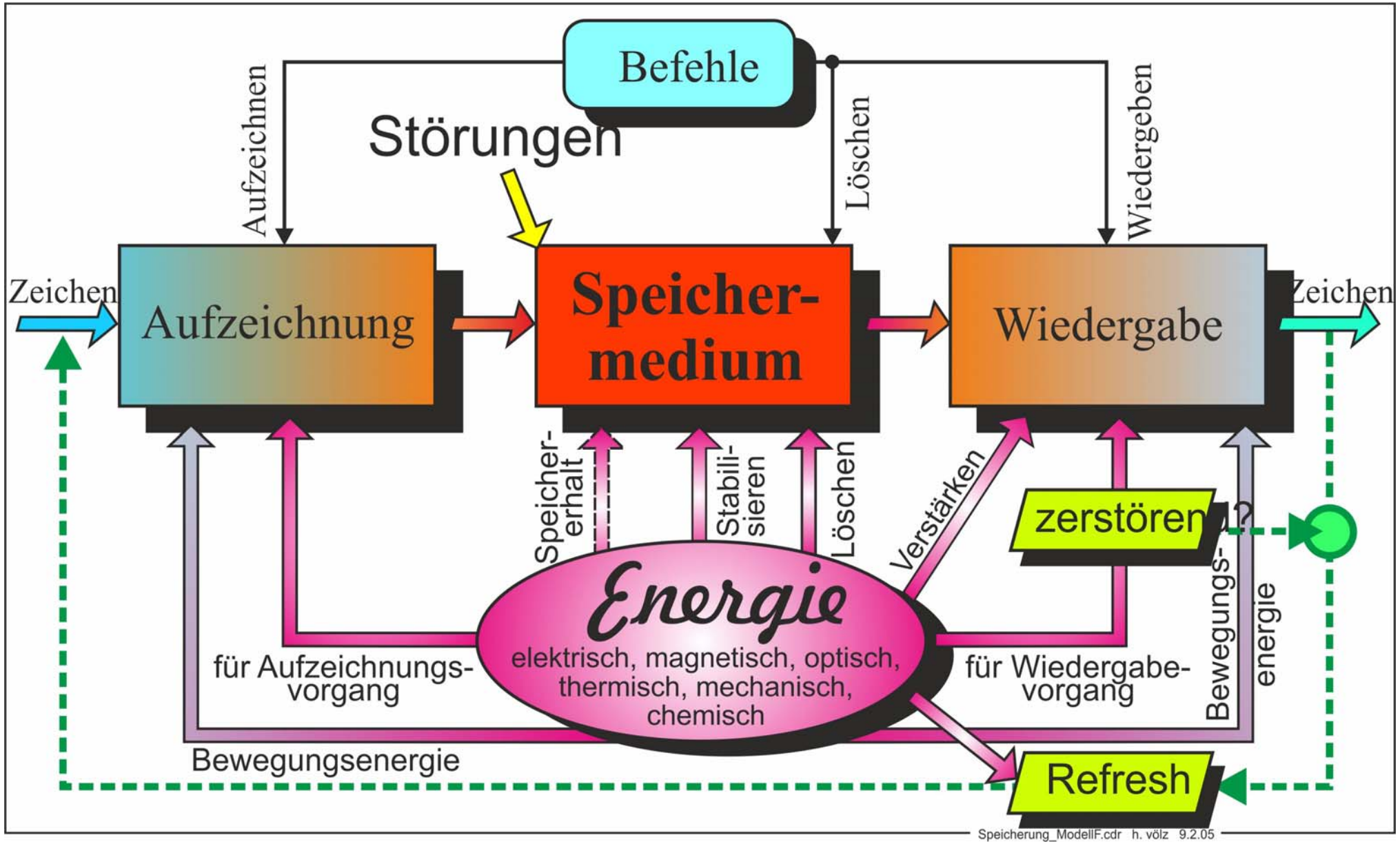
Dieses Prinzip der Informationsspeicherung lässt sich leicht ***verallgemeinern***. Dann gilt.

1. Es muss etwas (technisch meist Gerät) vorhanden sein, was ein ***irreversiblen Medium zur Speicherung*** enthält.
2. Es muss ein auslösbarer ***Aufzeichnungsvorgang*** existieren, der Daten in das Medien „schreibt“.
3. Es muss ein auslösbarer ***Wiedergabevorgang*** existieren, der die gespeicherten Daten wieder erzeugt und ausgibt.
4. Meist muss auch ein ***Löschvorgang*** existieren, der das Medium für neue Speicherungen frei macht.
5. Die Vorgänge 2. bis 4. benötigen zu ihrer Realisierung passende ***Energien***.

Diese Fakten führen zu dem folgenden Bild.



Die vielfältigen Einwirkungen der Energie bei den verschiedenen Prozessen zeigt das nächste Bild.



Auf viele Details des Bildes wird später noch genauer eingegangen werden.

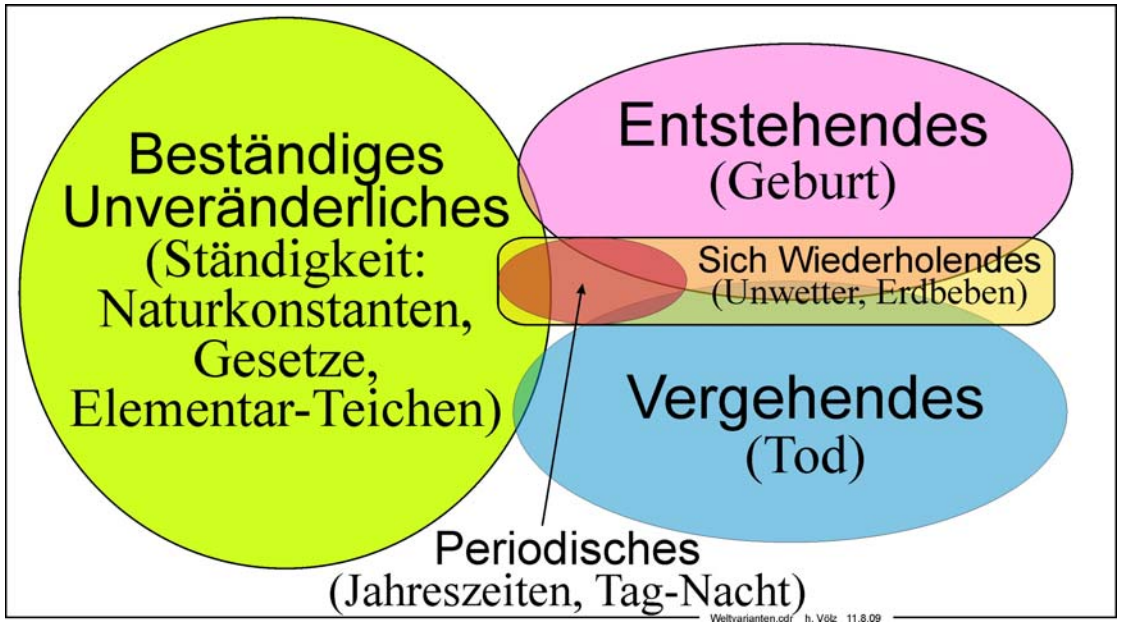
Speichern erfordert

1. Einen ***gerichteten Zeitablauf***, der aber keineswegs *aus den Naturgesetzen folgt* (Zeitpfeil)
Er ist aber erfahrungsgemäß (anschaulich) ganz deutlich. Es gibt sogar mehrere Zeitpfeile
Alle ***Gesetze der klassischen Physik*** sind jedoch bezüglich der Zeit voll umkehrbar (reversibel)
Sie bleiben auch dann voll gültig, wenn *t* durch *–t* ersetzt wird, (sie sind daher für die Speicherung unbrauchbar)

2. Eine zeitliche ***Veränderung der Welt***, sonst wäre nämlich die Speicherung überflüssig
Doch für jede Wissenschaft ist zumindest teilweise (Be-) ***Ständigkeit*** eine entscheidende Voraussetzung
Sie bedingt ***ewige Gesetze***, mit dazu gehörende ***Konstanten*** und ***Teilchen,*** die daher ***keine Speicherung*** fordern

3. Neben ***Werden*** und ***Vergehen*** müssen zur Speicherung vorrangig ***irreversible Veränderungen*** existieren,
denn nur sie hinterlassen für eine Speicherung beständige Fakten
Gäbe es nur Veränderungen, so wäre keine Speicherung, kein Gedächtnis möglich!
Lateinisch ***ir-*** un-, nicht + ***vertere*** kehren, wenden, drehen, ***revertere*** umkehren, zurückkehren, sich wenden an

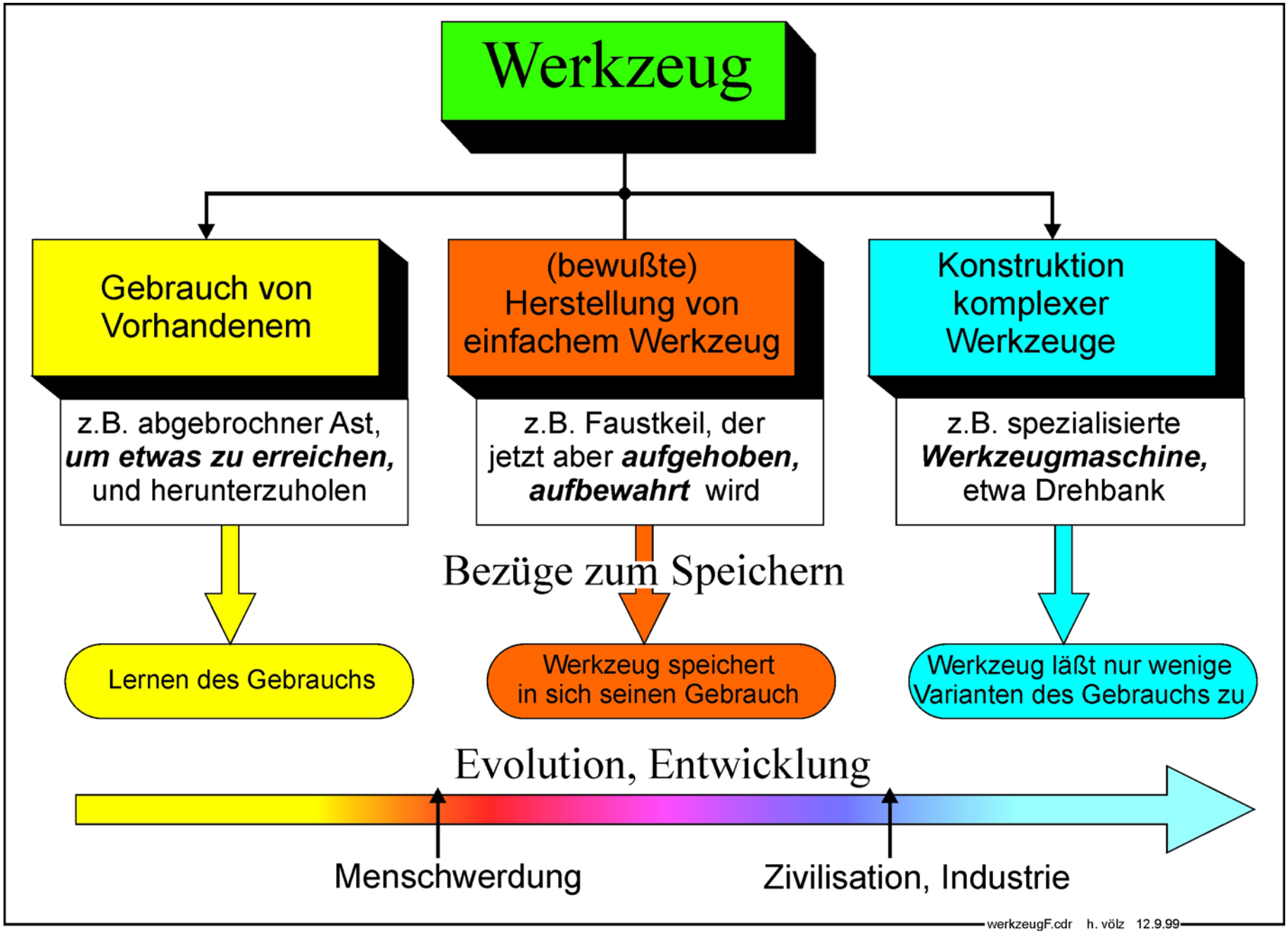
Statistik der ***Thermodynamik*** und ***Quantenphysik*** führen oft zu Problemen bei der Speicherung.
Sie verlangt im Weltgeschehen daher fast immer zumindest für den stabilen Speicherzustand ***deterministische Gesetze, Zusammenhänge***.
Neben (langfristig) Beständigen kann aber auch fortdauernd Periodisches als Speicherzustand genutzt werden (Begründung später); nicht dagegen Entstehendes und Vergehendes.



Vorstufen der Speicherung

Es gibt mindestens vier typische ***Überbleibsel aus der Vergangenheit***, die eigentlich Speicherungen sind, aber gewöhnlich nicht als Speicherungen bezeichnet werden.
Die ***Ursache*** dafür ist, dass diese ***Relikte*** (Spuren) der Vergangenheit nur teilweise der ***typischen Struktur*** von ***technischen Speicherprozessen*** genügen.
Ihnen fehlt vor allem die vom Menschen ***absichtlich ausgelöste Aufzeichnung***. Sie geschieht dann automatisch oder ***nebenbei***, zueilen sogar ***unerwünscht***.

1. In der Realität entsteht zuweilen oder gar häufig ***Neues***, zuvor ***noch nicht Dagewesenes***
   Es kann danach durchaus über ***längere Zeit unverändert*** bestehen bleiben.
   Im Rückblick ist es leicht als ein ***Relikt aus der Vergangenen*** zu interpretieren.
   Da so etwas ***ohne unser Zutun geschieht***, wird dabei ***kaum von Speicherung gesprochen.***
   Dennoch werden solche Ergebnisse oft als geschichtliches Zeugnis (also Speicherung) genutzt.
   Typisch hierfür sind die Reststrahlung im All, Gravitationswellen, Geologische Schichtungen, Fossilien usw.
2. Etwas anders wird mit ***Funden aus der Frühgeschichte der Menschheit*** umgegangen.
   Hierzu zählen dann Höhlenzeichnungen, Faustkeile, angelegte Gräber, Körperschmuck usw.
   Nur sie vermitteln entscheidende Kenntnisse über die Entwicklung der Menschheit.
3. Beim üblichen –insbesondere ***kriminellen*** – ***Handlungen*** entstehen viele, oft unbeabsichtigte „***Spuren***“
   Sie sucht und untersucht der Kriminalist, um den so gespeicherten Tat-Hergang zu rekonstruieren.
4. ***Werkzeuge*** enthalten in sich automatisch die Information ihres Gebrauchs.
   Jedoch erst ihr Aufbewahren macht diesen Fakt der Speicherung.
   Deshalb wird heute oft angenommen, dass sie ein erster Schritt zur Menschwerdung sind.
   Tiere benutzen zwar auch Werkzeuge, heben sie aber nicht auf.


Werkzeug
Gebrauch von Vorhandenem
(bewußte) Herstellung von einfachem Werkzeug
Konstruktion komplexer Werkzeuge
z.B. abgebrochner Ast, um etwas zu erreichen, und herunterzuholen
z.B. Faustkeil, der jetzt aber aufgehoben, aufbewahrt wird
z.B. spezialisierte Werkzeugmaschine, etwa Drehbank
Bezüge zum Speichern
Lernen des Gebrauchs
Werkzeug speichert in sich seinen Gebrauch
Werkzeug läßt nur wenige Varianten des Gebrauchs zu
Evolution, Entwicklung
Menschwerdung
Zivilisation, Industrie
werkzeugF.cdr h. völz 12.9.99

Mehr als ein Werkzeug

a)

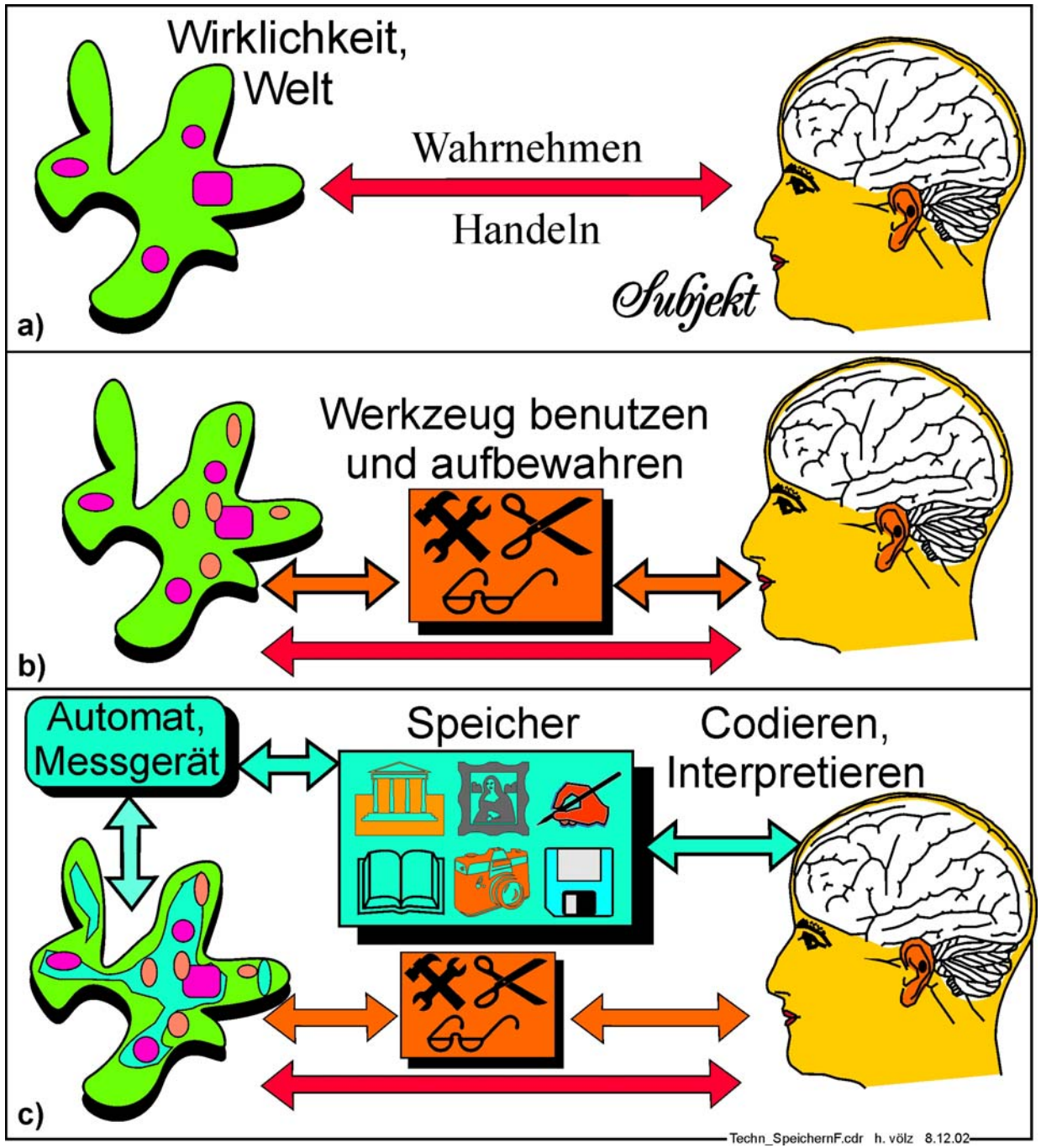
Ohne technische Hilfsmittel können wir nur ***direkt*** die Realität wahrnehmen und in ihr handeln

b)

Das aufgehobene ***Werkzeug*** speichert zusätzlich seinen Gebrauch und ermöglicht so ***verbessertes Wahrnehmen und Handeln***.

c)

Jedoch die Speicherung beliebiger Zeichen usw. gibt uns die Möglichkeit, statt der eigentlichen Objekte und dem Geschehen ihren „Ersatz“ zu nutzen und damit vielfältig mit ***geringerem Aufwand*** zu arbeiten.
Das beginnt mit der ***Schrift*** und wird durch immer komplexer und effektiver werdende ***Methoden*** enorm ***weiter entwickelt***.
Dabei entstehen viele neuartige Möglichkeiten. Sie sind so umfangreich geworden, dass schon lange ***keine brauchbare Systematik*** mehr möglich ist.

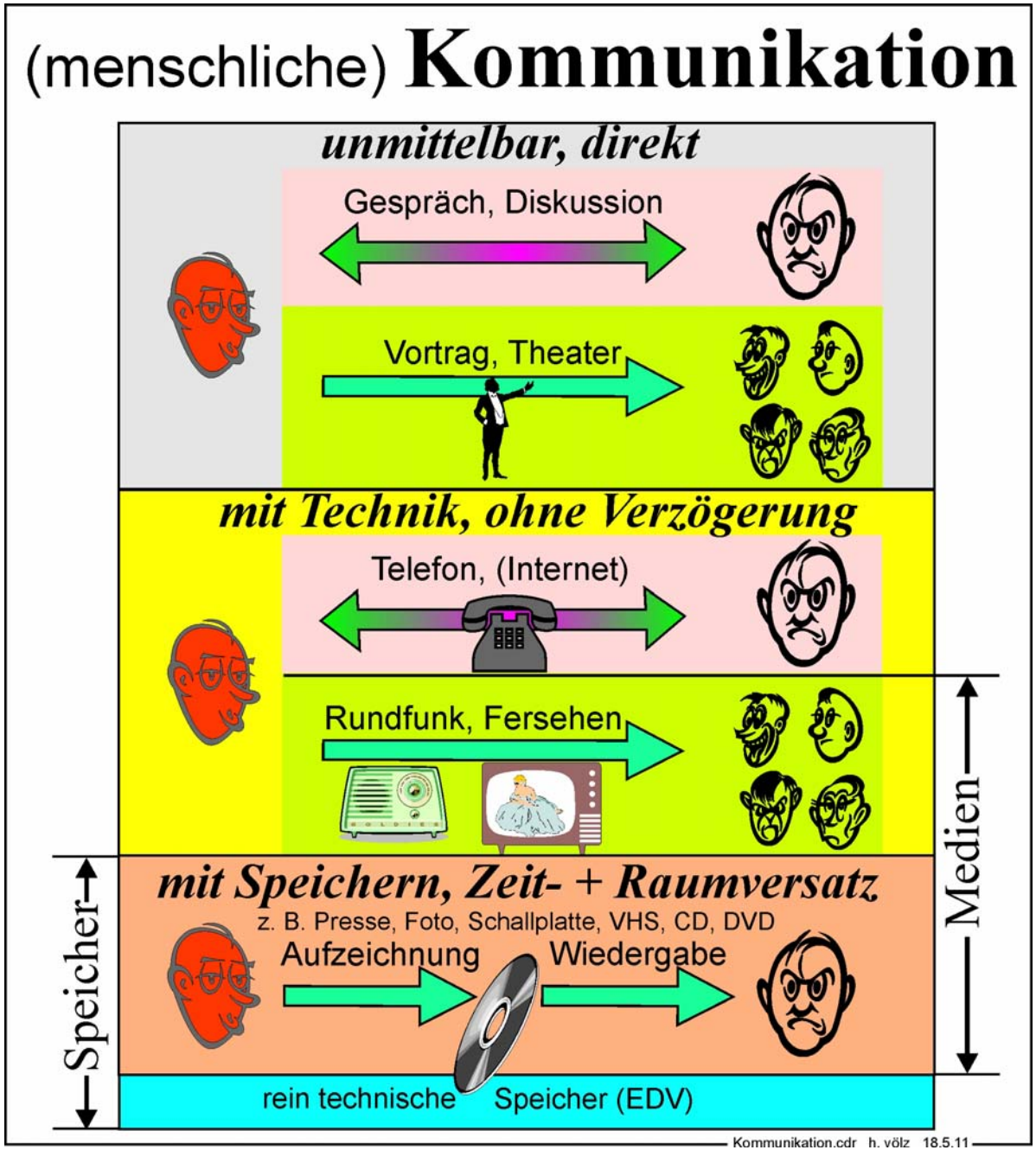


Speicherung und Kommunikation

Die Speicherung ermöglicht erstmalig (abgesehen von der Post und dem Transport), dass Menschen sehr umfangreich indirekt miteinander kommunizieren.

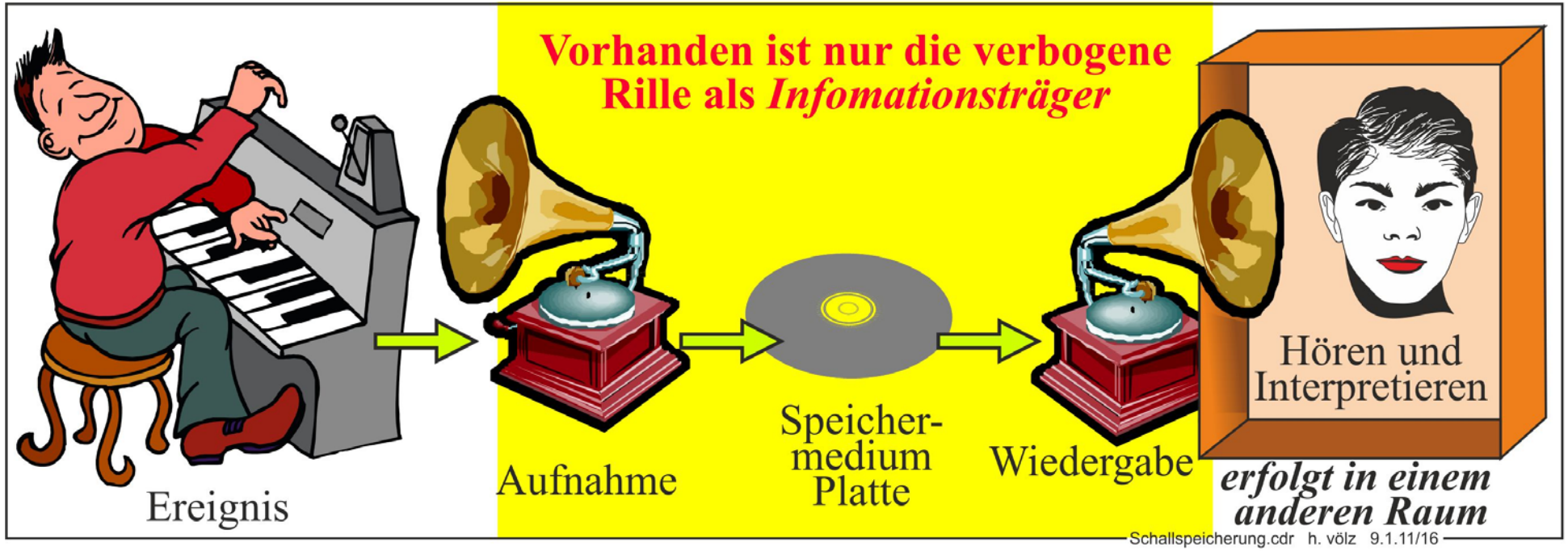
Dabei ist die Speicherung im ***Internet*** ganz wesentlich.

So wird ein ***räumlicher Abstand*** vollständiger überbrückt.



Speichern ist sehr selten total

Bei der ***Schallaufzeichnung*** werden z. B. nur die Schallschwingungen an einem ziemlich ***kleinen Ort*** ausgewählt.
Beim folgenden Bild ist es der Aufnahmetrichter, bei der heutigen Technik das Mikrofon.
Der ***Raum*** kann noch teilweise über den ***Nachhall usw. „nachempfunden“*** werden.
Zur Speicherung der Richtung der Schallquelle sind ***mehrere Mikrofone und später Lautsprecher*** notwendig.
Doch die akustischen ***Eigenschaften des Wiedergaberaumes*** bewirken immer ***zusätzliche Veränderungen***.
Doch völlig verloren geht der ***optische Eindruck*** und weitgehend das ***Charisma der Künstler***.
Selbst wenn zum Video übergangen wird, geht vieles vom Original verloren, insbesondere das unmittelbare, stark ***subjektive Erlebnis des Dabeiseins.***



Welche Informationen können gespeichert werden

Hierfür existiert ein breites Spektrum von zumindest 5 Varianten

1. Besonders einfach sind kontinuierliche oder diskrete ***Zahlen zu speichern***, z. B. von gemessenen ***Ausprägungen*** (physikalischer) Eigenschaften der Objekte. Auch der Wert der aktuellen Zeit gehört hierzu.
2. Etwas komplexer sind ***Ortsangaben*** in den *x*-, *y*- und *z*-Koordinaten für das Ausgewählte.
3. Die ***Sprache*** erfordert die Speicherung der jeweils verwendeten ***Zeichen*** im Sinne der Semiotik.
4. Komplexer ist die die Speicherung von ***Abläufen*** (Geschehen). Hier sind zeitlich nacheinander erfolgende Werte der vorigen Kategorien zusammengefasst aufzuheben (z. B. Schall, Film).
5. Schließlich ist es möglich, ***Funktionen, Algorithmen, Gesetze*** usw. zu speichern. Damit herbei eine Wiedergabe erfolgt, ist zusätzlich und zeitlich angepasst – ihre erneute Ausführung notwendig. Im Prinzip handelt es sich hierbei also weitgehend um eine indirekte Speicherung

Es muss erneut betont werden, dass im Sinne der Informationstheorie nicht der eigentliche Inhalt (das ***Informat***), sondern stets ***nur*** der entsprechende ***Zeichenträger*** gespeichert wird. Damit die ***komplette Information*** wieder entsteht, muss der gespeicherte Zeichenträger auf das getrennte und passende ***Empfangssystem*** einwirken.

Besonderheiten und Grenzen der Speicherung

Bei der ***Übertragung*** (SHANNON-Information) wurden die Möglichkeiten hauptsächlich durch
1. die ***Bandbreite*** des Kanals und
2. die ***Statistik der Zeichen*** begrenzt.
Für technische Betrachtungen waren die ***Inhalte des Übertragenen*** völlig unwichtig.

Bei der ***Speicherung*** sind die Einflüsse und Grenzen ***deutlich komplizierter:***

1. Vor allem ist das ***für 1 Bit minimal erforderliche Volumen*** V_{Min}/Bit wichtig**.**
Letztlich müssen ja oft sehr **große Informationsmengen** *irgendwie* ***zuverlässig gelagert werden.***
Dabei können durchaus ***Räume wie für Bibliotheken*** (mit besonderen Klima-Anforderungen) erforderlich werden.

2. Dann begrenzen ***mehrere Energien,*** genauer ***Energiedichten die Menge und Stabilität*** der zu speichernden Bit.
Für die ***stabile „Aufbewahrung“ sind*** – wie bereits gezeigt wurde – mindestens $\boldsymbol{k \cdot T \cdot \ln(2)}$ **J/Bit** ***erforderlich***
in anderen ***Maßeinheiten*** sind das E/Bit $\geq 3 \cdot 10^{-21}$ J $\cong 5 \cdot 10^{11}$ Hz $\cong 5 \cdot 10^{-22}$ cal $\cong$ 26 mV.
Sie müssen ***in dem minimalen Bit-Volumen*** V_{Min} als ***Energie untergebracht werden.***
Auch die ***„Einspeicherung“*** (Aufzeichnung) verlangt eine entsprechende „steuerbare“ ***Energie-Konzentration.***
Selbst für die ***Wiedergabe*** ist die Energie mit ***ausreichendem Störabstand*** als Signal zurück zu gewinnen.

3. Die Aufzeichnung und Wiedergabe können nur mit einer *begrenzten Geschwindigkeit* erfolgen

4. Wie bei der Übertragung interessiert bei allen technischen Speicherprozessen ***nicht der Inhalt*** der Information.
Es wird ja schließlich nur der ***Informationsträger*** benutzt.

Aus den Begrenzungen 1. bis 3. lässt sich eine **Elementarzelle** für ein Bit berechnen.

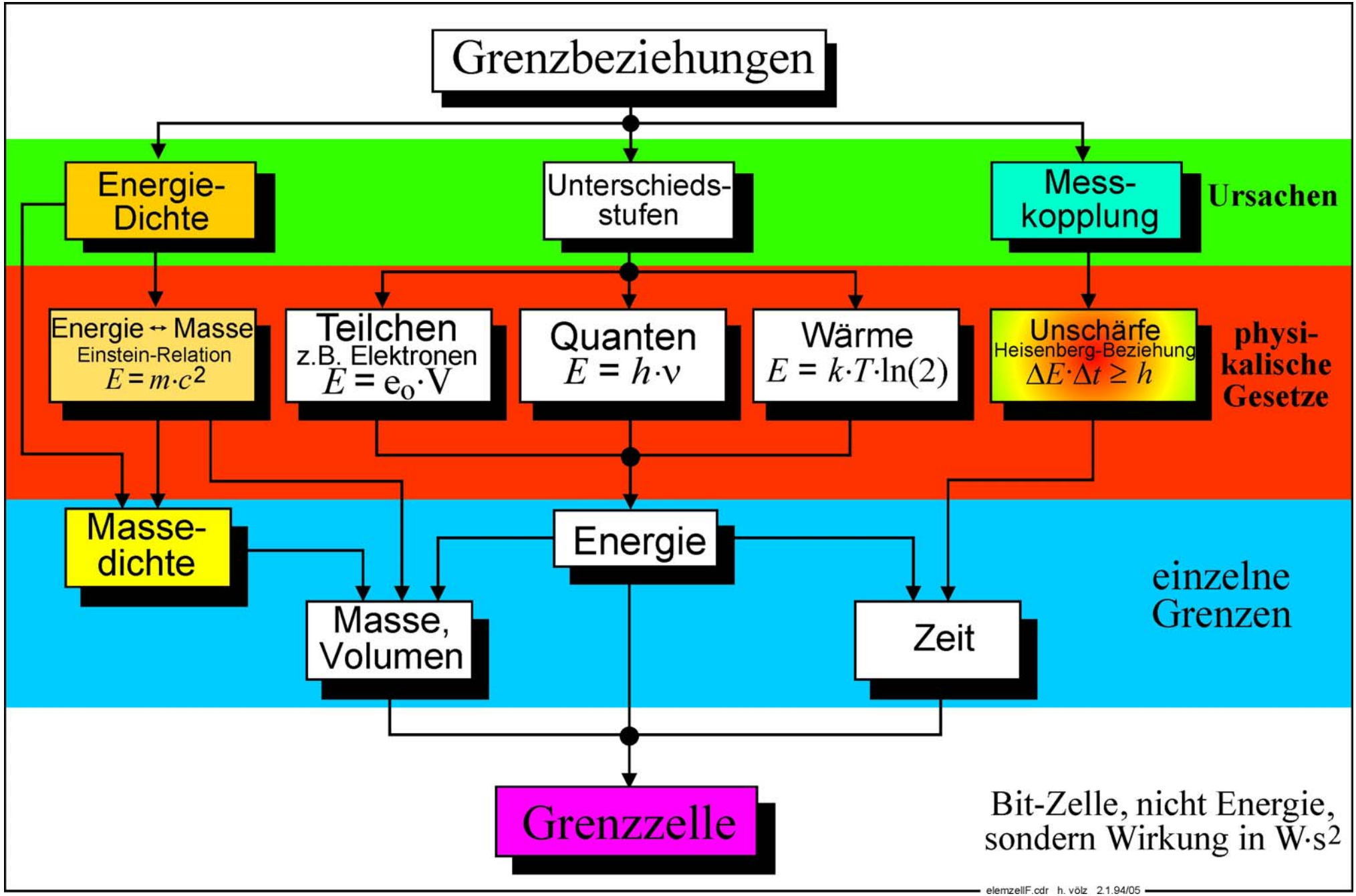
Bestimmung der Grenzelle für 1 Bit

Primär gibt es 3 Ursachen für die kleinstmögliche Speicherzelle (folgendes Bild).

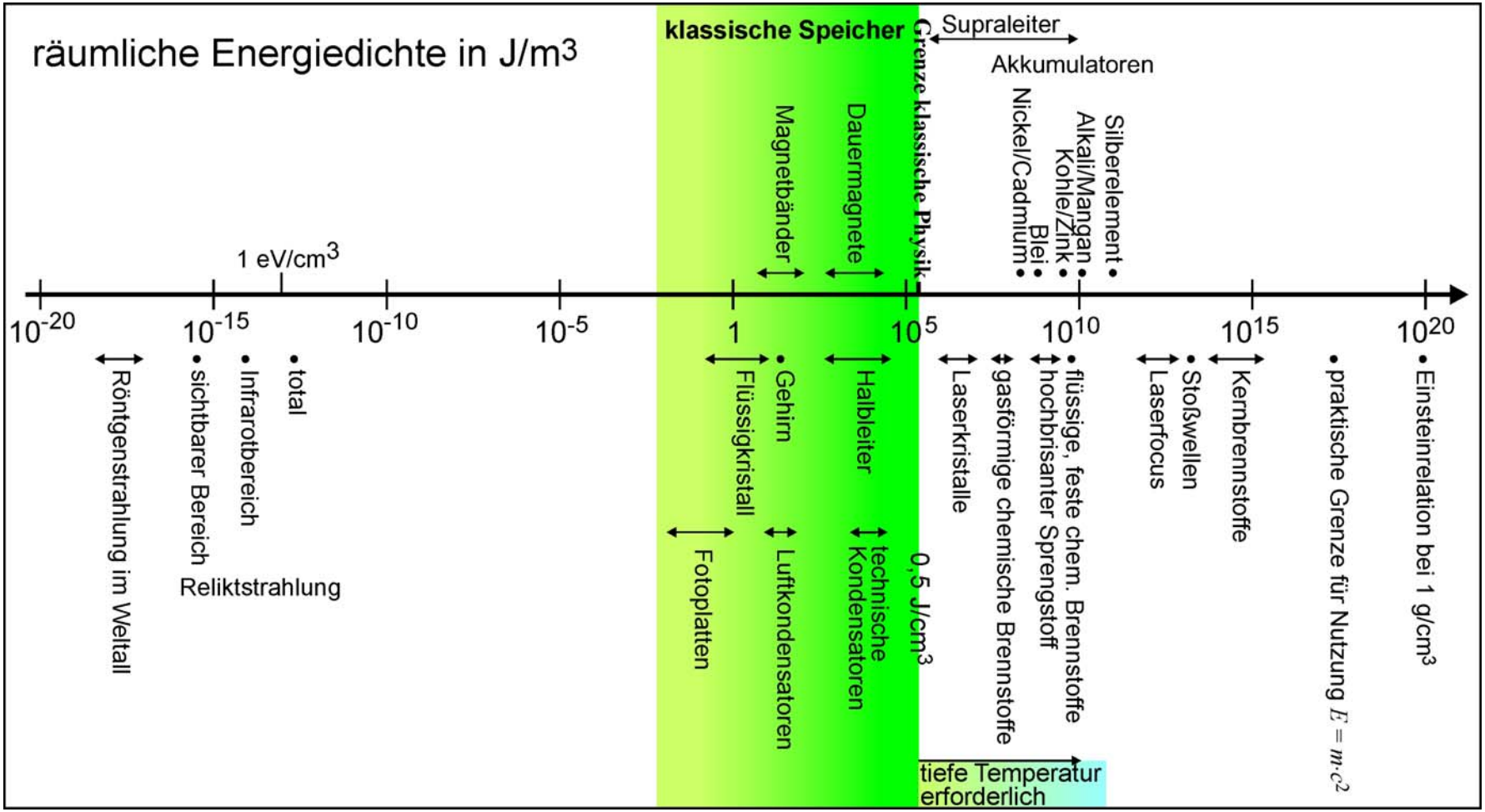
1. Für 1 Bit müssen eindeutig feststellbare ***unterscheidbare Stufen*** existieren
   Sie werden durch Teilchen, Quanten bzw. Energien mit $\geq k \cdot T \cdot \ln(2)$ bestimmt.
2. Die maximal mögliche ***Energiedichte im Material***. (übernächstes Bild).
   Ihr höchstmögliche Wert folgt aus der Einstein-Relation $E = mc^2$
   Doch sogar für Kernkraftwerke ist dieser Wert nur zum geringen Teil nutzbar,
   Für die Speicherung muss aber im Gegensatz dazu eine langfristige Stabilität garantiert werden.
   Nach vielen Abschätzungen (Kondenstor-, Magnetenergie usw.) ergibt sich $\leq 0{,}5$ J/cm^3
   Das entspricht etwa auch der Grenze der Klassischen Physik mit rund 1000 Atomen [1].
   Für Gewicht, Masse ist evtl. zusätzlich die Massedichte bei Festkörper von etwa 1 bis 10 g/cm^3 zu beachten
3. Für die ***Wiedergabe ist eine energetische Kopplung*** mit dem Speicherzustand erforderlich,
   Hierbei wird letztlich die Heisenbergunschärfe $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$ wirksam.
   So verlangt die 1-Bit-Speicherzelle das Produkt aus Energie·und Zeit (W·s^2).
   So ergeben sich auch ***Zeitgrenzen***: Für schnellere Zugriff ist immer mehr Energie erforderlich.
   Für ausreichende Sicherheit von **1 Bit** ist ein Störabstand z erforderlich

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

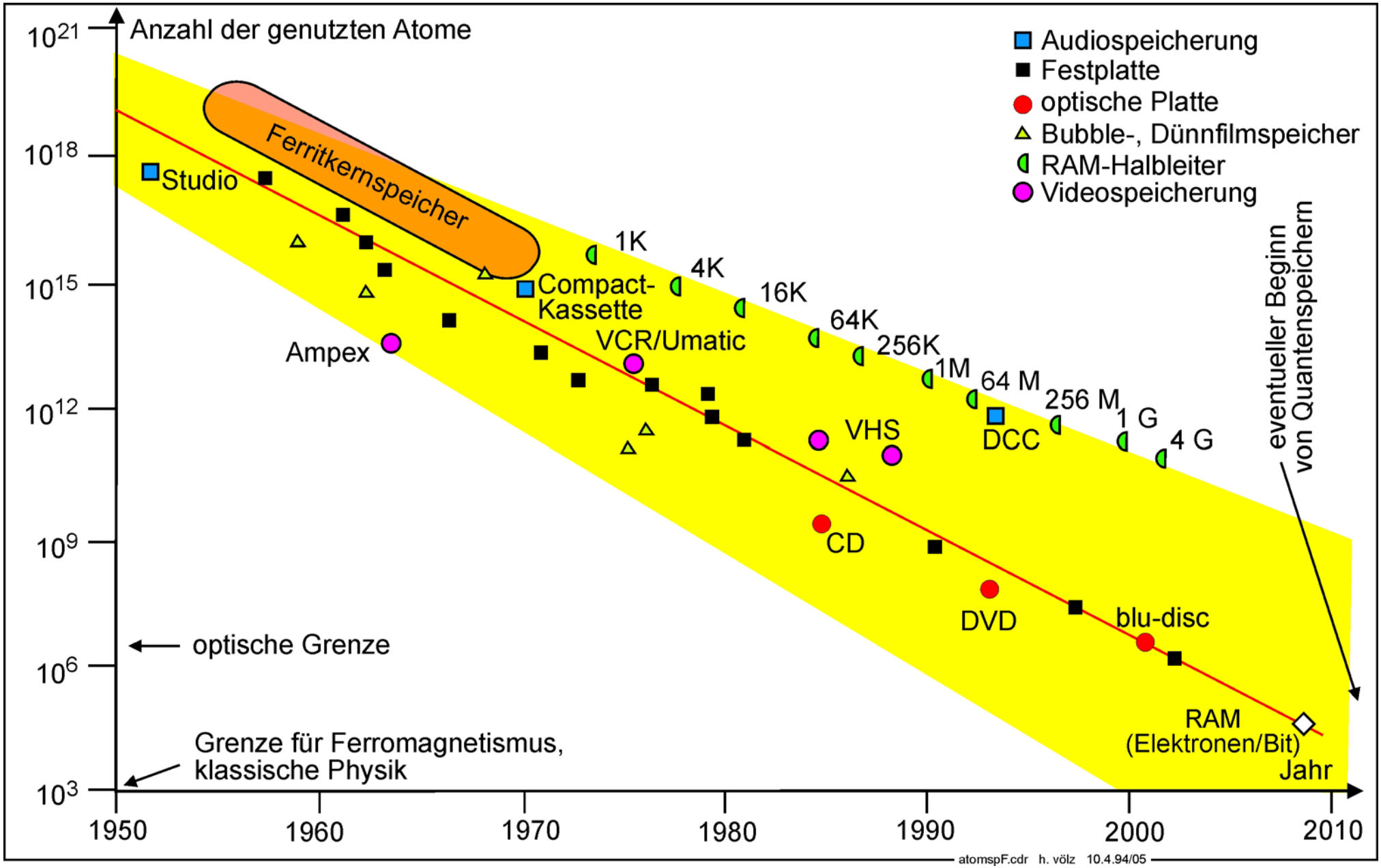
   Bei Zimmertemperatur ($T \approx 300$ K) und einem Störabstand von 60 dB ($z \approx 1000$) folgen **$\approx 10^{-13}$ s**
   Bei elektronischen Speichern ist das als Produkt aus Leistung×Schaltzeit technisch wichtig.
   Dennoch wundert sich ***Schrödinger*** [2] bzgl. der Genetik, dass die Nukleinsäuren (DNS) mit ihren geringen Energieschwellen hinreichend lange stabil sind. Wird jedoch die technisch gesehene langsame Duplikationszeit (ca. 2000 Sequenzen/s) herangezogen, so entstehen Werte, die durchaus mit der Erfahrung übereinstimmen


Grenzbeziehungen
Energie-Dichte
Unterschieds-stufen
Mess-kopplung
Ursachen
Energie ↔ Masse
Einstein-Relation
$E = m \cdot c^2$
Teilchen
z.B. Elektronen
$E = e_o \cdot V$
Quanten
$E = h \cdot \nu$
Wärme
$E = k \cdot T \cdot \ln(2)$
Unschärfe
Heisenberg-Beziehung
$\Delta E \cdot \Delta t \geq h$
physi-kalische Gesetze
Masse-dichte
Energie
einzelne Grenzen
Masse, Volumen
Zeit
Grenzzelle
Bit-Zelle, nicht Energie, sondern Wirkung in $W \cdot s^2$
elemzellF.cdr h. völz 2.1.94/05

Die Energiedichte

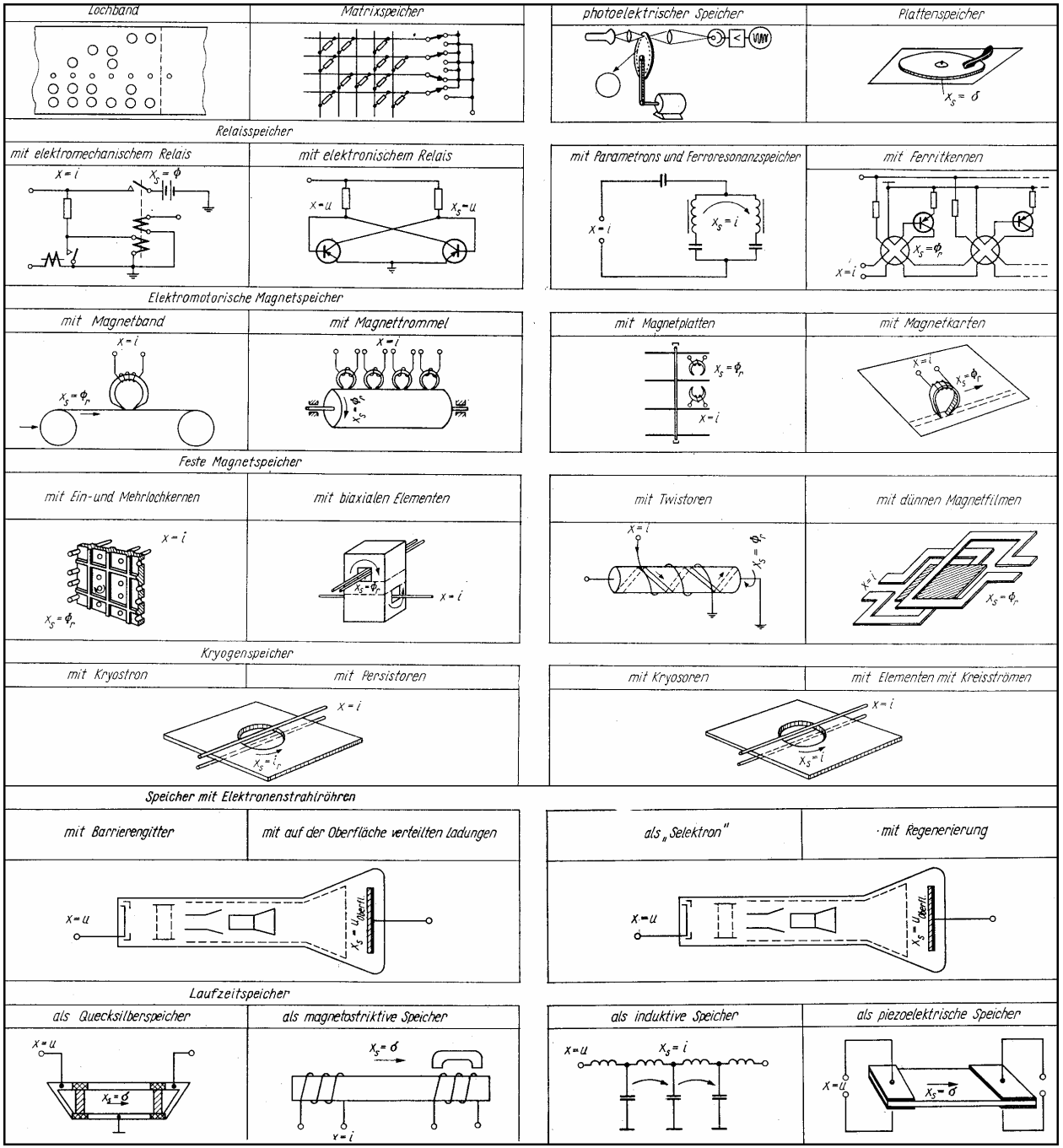


Der grün gekennzeichnet Bereich ist typisch für technische Speicher [1].
Das folgende Bild weist aus, dass im Laufe der Entwicklung immer weniger Atome je Bit benötigt werden.


Anzahl der genutzten Atome
10^{21}
10^{18}
10^{15}
10^{12}
10^{9}
10^{6}
10^{3}
Audiospeicherung
Festplatte
optische Platte
Bubble-, Dünnfilmspeicher
RAM-Halbleiter
Videospeicherung
Ferritkernspeicher
Studio
Ampex
Compact-
Kassette
VCR/Umatic
VHS
CD
DVD
blu-disc
1K
4K
16K
64K
256K
1M
64 M
256 M
1 G
4 G
DCC
eventueller Beginn
von Quantenspeichern
RAM
(Elektronen/Bit)
optische Grenze
Grenze für Ferromagnetismus,
klassische Physik
Jahr
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
atomspF.cdr h. völz 10.4.94/05

Beispiele für Speicher

Informationsspeicherung war und ist ***grundlegend für die Menschheit***, insbesondere für Kultur und Technik.
Von Beginn an war –insbesondere für die Rechentechnik – ***immer zu wenig Speicherkapazität vorhanden***. So wurde ***jede*** irgendwie nur mögliche ***Variante*** zur Speicherung ***erprobt*** und zumindest auch ***zeitweise genutzt***. Einen Überblick hierzu bereits ***um 1970*** gibt das nebenstehende Bild von LERNER [3].
Seitdem sind ***viele*** Möglichkeiten hinzugekommen und ständig entstehen immer noch neue. Das verlangt eigentlich eine sehr umfangreiche Darstellung [4]
Um ***1995*** (s.u.) erfolgte ein quantitativer und ökonomischer ***Umbruch***, der zu Einschränkungen führen könnte. Dennoch ist und bleibt eine vollständige ***Systematik praktisch unmöglich***. Deshalb wird hier zunächst versucht, einen groben Überblick zu den ***Prinzipien der Speicherzellen*** zu geben.



Beispiele für Speicherzellen

Im Prinzip sind alle, über längere Zeit stabilen stofflich-energetischen Zustände für eine Speicherzelle geeignet.
Die wichtigsten Fälle sind hier geordnet nach den physikalischen Grundlagen bzgl. der Wiedergabe aufgezeigt.

- ***mechanisch***: Löcher, Stifte, Nocken usw. z. B. als Loch-Band oder -Karte, bei Spieluhren usw.
  Rillen in ihrer Verbiegung bei der Edison-Schallwalze und Schallplatte von Berliner
- ***magnetisch:*** großer Vorteil der immer vorhandenen Hysterese. Magnetband, Disketten, Festplatten usw.
  Ferritkerne, Bubbles, evtl. auch künftige MRAM möglich
- ***optisch***: hell-dunkel, durchsichtig, z.B. für Schrift, Druck, Bar- u. QR-Code, Fotografie und CD
- ***elektrisch***: gemäß Ladung bei C (dRAM mit refresh), Ferroelektrika (auch künftige feRAM), Flash, EPROM, für PROM als löschbare (Wegbrennen, Zusammenfügen) von Anschlüssen, Kontakten, aber auch Relais usw.
- ***elektronisch***: viele Arten Flipflop u. a. beim sRAM, verlangt aber zusätzlich Erhalt der Betriebsspannung
  Tunneldiode, Speicherröhre
- ***Festkörper*** ins besondere der Übergang kristallin- amorph, z.B. bei der CD-RW, evtl. auch für zukünftige xRAM
- ***ohmisch***: teilweise gleiche Zukunft wie amorph-kristallin, vielleicht künftige Anwendungen des Memristors
- ***induktiv*** ist theoretisch denkbar, aber wohl nie genutzt
- ***quantenphysikalisch*** bestenfalls in Ansätzen bei sehr tiefen Temperaturen erprobt.

Nur in wenigen Fällen ist die gewünschte (theoretisch mögliche) hohe Energiedichte (Speicherdichte) erreichbar.

Grenzen beim Aufzeichnungsvorgang

Bei der Aufzeichnung muss nur in das kleine Volumen der Speicherzelle die Bit-Energie zugeführt werden.
Erst dadurch kann sie in den „gewünschten“ Speicherzustand (0 oder 1) überführt werden.
Das verlangt höchste ***Energiekonzentration***, sonst würden unerwünscht auch Nachbarzellen verändert.
Bei der magnetischen Speicherung verwirklicht die Konzentration der ***Magnetkopf*** mit wenigen nm Spaltweite.
Jedoch seine Spaltlänge muss immer deutlich größer sein, zusätzlich stören seitlich austretende Magnetfelder.
Die ***Optik*** ermöglicht das theoretisch kleinstmögliche Volumen gemäß der Wellenlänge λ.
Gemäß der Apertur A_n beträgt der Durchmesser des ***Brennfleck***s $D \approx 0{,}6 \cdot \lambda / A_n$
Die zusätzlich Länge des Brennflecks mit $\approx \lambda \cdot A_n$. ergibt das ***Brennvolumen*** $V_{Br} \approx \lambda^3$.
Bei der Frequenz v und mit der Lichtgeschwindigkeit $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s beträgt die ***Energie eines Photons***

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

Infolge der Bündelung auf das Brennvolumen V herrscht dort die Energiedichte

$$w = \frac{E}{V_{Br}} = \frac{h \cdot c}{\lambda^4}.$$

Die Auflösung nach der Wellenlänge ergibt

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{h \cdot c}{w}}.$$

Daher ermöglicht die Nutzung kurzer Wellenlängen theoretisch beliebig hohe Energiedichten.
Für die klassische Energiedichte $w \approx 0.5$ J/cm^3 beträgt die Wellenlänge $\lambda \approx 25$ nm (fernes ultraviolettes Licht).
Daraus folgt das kleinstmögliche Volumen zu ≈ 500 nm^3
Das ermöglicht eine maximale Speicherdichte von 10^{22} Bit/m^3, also weitaus mehr als heute technisch erreicht sind

Grenzen durch den Wiedergabevorgang

Bei der Wiedergabe muss der jeweils aktuelle Zustand der ausgewählten Zelle festgestellt werden.
Das erfordert eine hoch selektive „Messkopplung“, die nur die einzelne Speicherzelle erfassen darf.
Mit einem „Wandler“ ist dabei Energie mit geringem Störabstand zum Verstärker zu übertragen.
Hierbei sind zwei Einflüsse wirksam:

1. Dem ***Speicherzustand*** muss hierzu ***Energie entzogen*** werden.
   Nur bei ***zerstörender Wiedergabe*** ist die ***volle gespeicherte Energie*** nutzbar.
   Dann ist aber nach dem Erkennen (eventuell) der ursprüngliche ***Zustand wieder herzustellen***
   Dieses ***Refresh*** wird u. a. beim dRAM und Ferritkernen angewendet und benötigt viel Zeit.
   Ohne Zerstörung des Speicherzustandes kann deutlich ***weniger Energie*** entnommen werden.
   Dabei darf aber nicht die ***Stabilitätsschwelle*** ΔE des Speicherzustandes überschritten werden (s.u.).
2. Oft muss die entnommene ***Energie*** für den Wiedergabeverstärker in ***elektrisches Signale gewandelt*** werden.
   Hierbei bewirkt der ***Wirkungsgrad*** des Wandlers zusätzliche Verluste.
   Bei ***Magnetköpfen*** sind Wirkungsgrade ***bis zu 90 %*** möglich,
   Bei optischen oder gar ***magneto-optischen Wandlern sind*** oft nur wenige $^{0}/_{00}$ möglich.

Werden diese Fakten mit denen bei der Aufzeichnung und im Speicherzustand verglichen, so ergibt sich für die jeweils erreichbare ***Speicherdicht***e folgende Relation:

$$\textbf{\textit{Aufzeichnung}}\ (\rightarrow\infty) > \textbf{\textit{Speicherzustand}}\ (\text{klassisch} \approx 10^{22}\ \text{Bit/m}^3) > \textbf{\textit{Wiedergabe}}$$

Daher begrenzt fast immer die Wiedergabe die nutzbare Speicherdichte eines Speicherverfahrens.

Beständigkeit des Speicherzustandes

Sie ist zu ***verbessern*** durch

- ***Erhöhung*** der benutzten Energie des Speicherzustandes
- Lagerung bei ***tiefer Temperatur***
- ***Zusätzliche Stabilsierung*** mit Anti-Katalysatoren (Blockierung des Überganges);
  ≈ ***nachträgliche Verbesserung*** wie bei der Film-Entwicklung
- Indirekt durch ***zusätzliche Speicherzellen*** mit einer ***Fehlerkorrektur***

Jeder Speicherzustand ist nur gegenüber einer ***Energieschwelle ΔE*** sicher.
Wird sie unterschritten so kann der ***Speicherzustand*** zerstört werden. Dies kann erfolgen durch:

- ***Verlust von Speicherenergie***, z. B. Entladung des Kondensators beim dRAM
- Aus- bzw. Abfall der ***Betriebsspannung*** bei sRAM. (Hinweis: Problem Energie-Speicher-Dichte)
- ***thermodynamische Energie*** mit MAXWELL-Verteilung (höhere Temperatur)
- ***Quanten***einflüsse, z. B. ***Tunneleffekt*** (Radioaktivität).
- ***verzögertem Rückfall***, z.B. bei nicht senkrechtem Übergang (s. Laser), z. B. mit Lumineszenz

Die ***erreichbare Speicherzeit*** ist mittels der ARRHENIUS-Gleichung von 1896 abschätzbar.
Für die typische Halbwertszeit (50 % Wahrscheinlichkeit) gilt:

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

Es bedeuten T =absolute Temperatur, $k \approx 1{,}36 \cdot 10^{-23}$ J/K = BOLTZMANN-Konstante und t_0 = Zeitkonstante
Für Elektronenbahnen beträgt sie $t_0 \approx 3 \cdot 10^{-15}$ s, für Gitterschwingungen $\approx 10^{-4}$ s

Daher gibt es ***keinen absolut sicheren Speicherzustand***, ***jedoch*** kann die ***Fehlerrate sehr klein*** bleiben und muss eventuell mit Fehlerkorrektur verbessert werden. .

Speicher-Aufbau

Eine Speicherzelle genügt fast nie bei Speicheranwendungen.
Meist werden mehrere bis sehr viele ***Speicherzellen zu einer Speichereinheit*** zusammengefügt.
Dabei sind zwei, z. T. verknüpfte Aspekte zu unterscheiden, die ***Anzahl*** der Speicherzellen und deren ***Organisation***
Bezüglich der ***Anzahl*** gilt:

- ***Einzel-Bit***: Sie dienen hauptsächlich als ***Ein-Aus-Schalter*** und beim Programmieren als ***Flag*** zur Entscheidung
- ***Speicher-Wörter***. Sie werden zusammenhängend ausgewählt und benutzt. Typisch sind Längen von 4 Bit (nibble), 8 Bit (Byte), dann 16, 32 und 64 Bit.
- ***Speicherblöcke*** mit Längen bis zu mehreren kByte, die eine spezielle Verwaltung ermöglichen z. B. bei Flash-Speichern (gemeinsames Löschen), Audiodaten, Fehlerkorrektur usw.
- ***Sonder-Ausführungen*** (bis zu etwa 100 kByte) für Aufgaben mit meist ***spezieller Organisation*** wie Stack, Cache, Umlaufspeicher, Seriell-Parallel-Wandlung usw.
- ***Großspeicher*** bis zu EByte. Bei ***elektronischen*** Speichern sind sie fast immer als ***Matrizen*** für den Zugriff organisiert. In anderen Fällen liegen sie als auswechselbare ***off-line-Medien***, wie Magnetbänder, Disketten, Festplatten, SSD, USB-Sticks, Smart-, SIM-, Chip-Card usw. vor.

Stack und Verwandtes

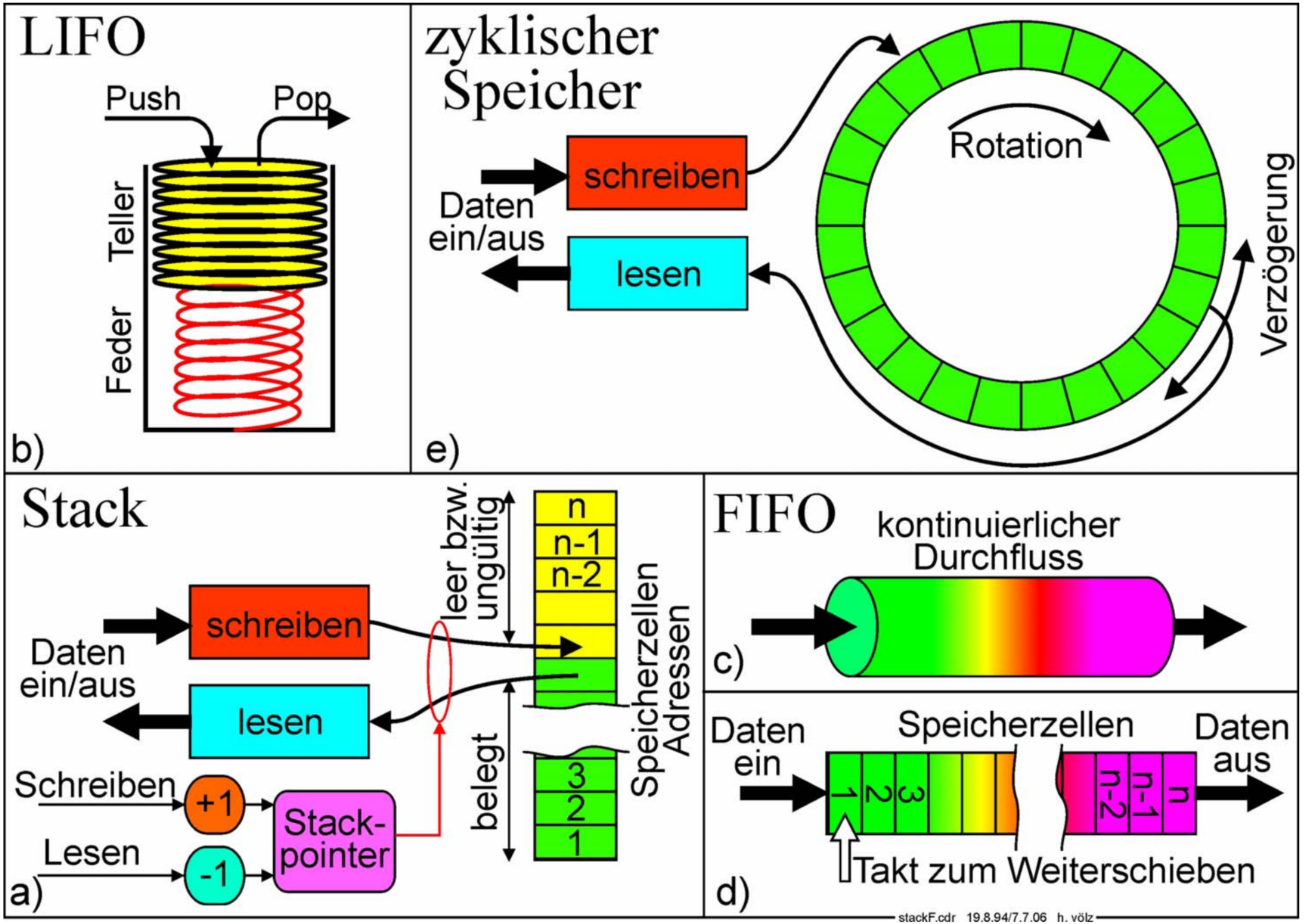
englisch Stapel, Haufen, Warteraum, Miete, Schacht, Schornstein, deutsch auch Kellerspeicher

Formal ist er gut mit übereinander aufgespießten Zetteln oder einen Tellerstapel in Gaststätten (b) zu vergleichen.
Was zuletzt abgelegt wurde, muss zuerst wieder entnommen werden (LIFO = last in first out).
Erstaunlicherweise wird er nur per Software realisiert Bild a) mit zwei Pointern.
Praktisch alle Programmierungen benutzen ihn, Forth verlangt sogar 3 unanhängige Stack.
Die Erfindung des Stack erfolgte in den 50er Jahren.
Wahrscheinlich schufen ihn mehrere unabhängig voneinander, erkannten aber nicht seine fundamentale Bedeutung.
Vielfach wird die Dissertation von WILHELM KÄMMERER (1905 – 1994) genannt.
Er verwendete ihn um 1950 bei den Vorarbeiten zur OPREMA (Optik-Rechen-Maschine auf Relais-Basis), die von ihm 1955 beim Carl-Zeiss-Werk in Jena fertig gestellt wurde.
Das folgende Bild zeigt einige Darstellungsarten.

Das Gegenstück zum Stack ist der „***Durchlaufspeicher***“ gemäß Bild c) und d).
Für ihn gilt FIFO (first in first out). Er arbeitet meist getaktet und dient häufig zur Verzögerung von Information.

Eine dritte Variante ist der zyklische ***Umlaufspeicher*** gemäß Bild e).
Bei zyklisch angeordneten Speicherzellen kann mit einstellbarem Abstand geschrieben und gelesen werden.

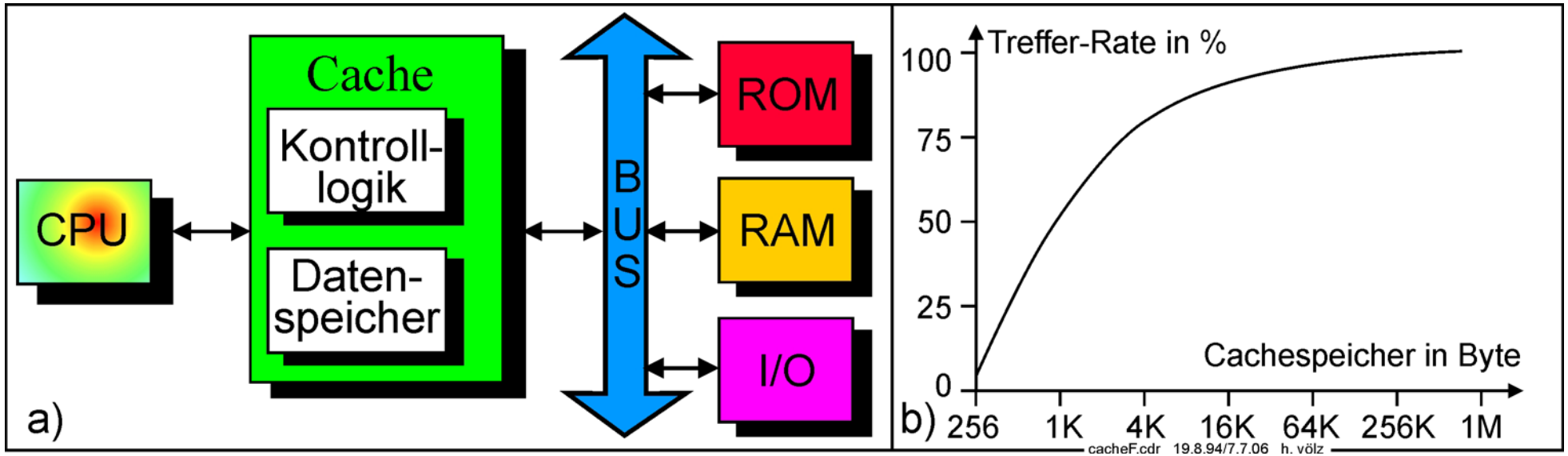
Eine vierte Variante schaltet die Zellen mit Zusatzelektronik so zusammen, dass eine ***Umwandlung*** zwischen ***seriellen und parallelen Zugriff*** auf die Zellen möglich ist


LIFO
Push
Pop
Teller
Feder
b)
zyklischer Speicher
schreiben
Daten ein/aus
lesen
Rotation
Verzögerung
e)
Stack
leer bzw. ungültig
n
n-1
n-2
schreiben
Daten ein/aus
lesen
belegt
3
2
1
Speicherzellen Adressen
Schreiben
+1
Lesen
-1
Stack-pointer
a)
FIFO
kontinuierlicher Durchfluss
c)
Daten ein
Speicherzellen
Daten aus
1
2
3
n-2
n-1
n
Takt zum Weiterschieben
d)
stackF.cdr 19.8.94/7.7.06 h. völz

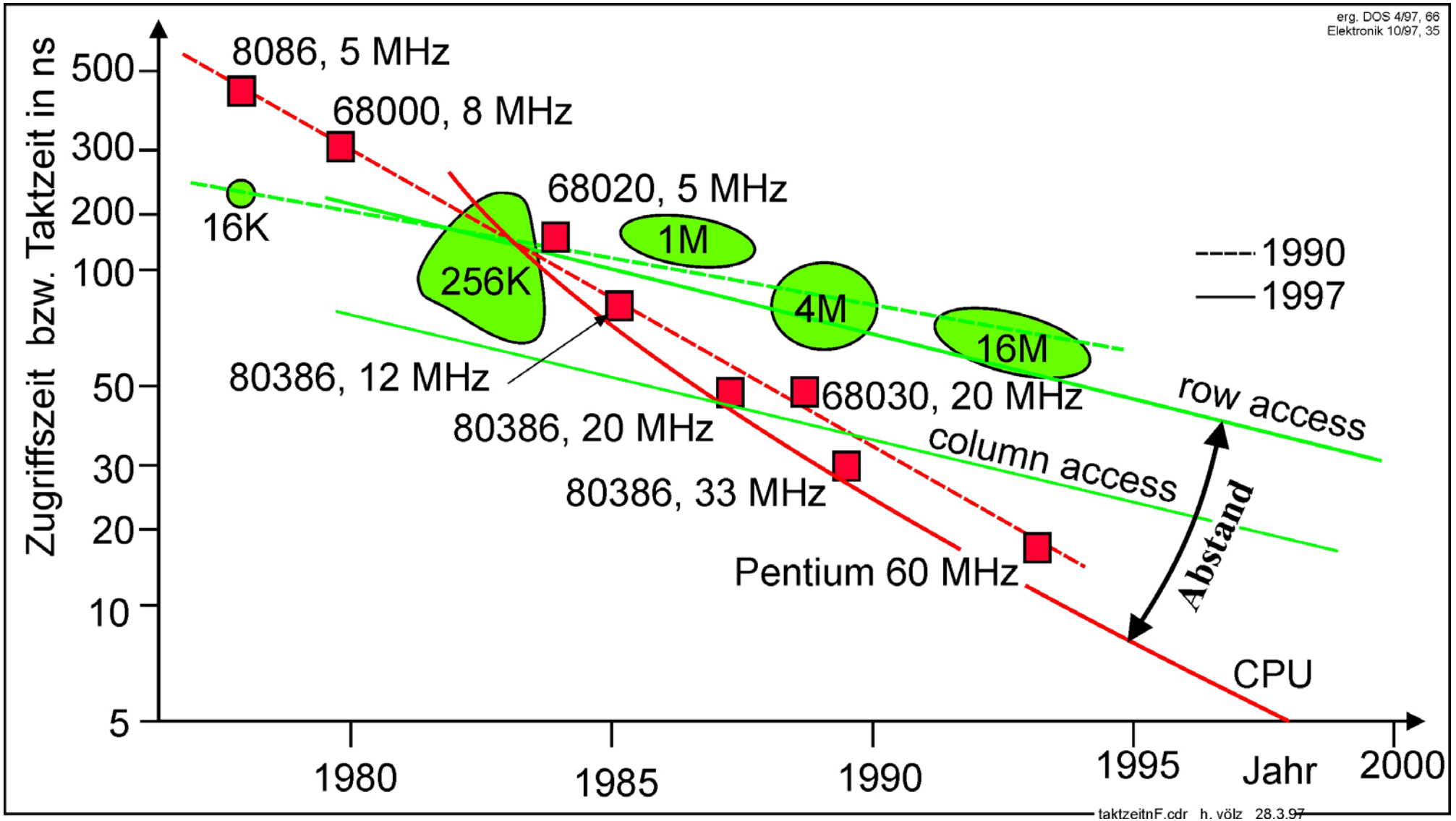
Cache

englisch Versteck, geheimes Lager

Er soll einen langsamen Datenaustausch zwischen dem Speicher und der Daten-Nutzung beschleunigen.
Er besteht (s. Bild) aus einen kleinen, sehr schnellen Speicher (sRAM, teilweise bipolar) und einer Kontroll-Logik
Beim Lesen und Schreiben hat er dafür zu sorgen, dass Zugriffsverzögerungen verringert werden
Durch ein spezielles Programm sollen die nächsten gewünschten Daten bereits vor der Anforderung bereit stehen.
Die Logik muss also quasi voraus denken (look ahead). Das muss jedoch nicht immer funktionieren.
So gibt es Treffer = hit (to hit treffen, bestätigen schlagen) und Fehler = miss (to miss vermissen, fehlen, verpassen).
Um möglichst viele hit zu erreichen sind recht komplexe Programme erforderlich.
Deren Qualität bestimmt die Leistungsfähigkeit des cache. Es sind Hit-Raten bis zu 90 % möglich.
Insbesondere wird seit etwa 1985 die CPU über einen Cache mit dem langsameren Arbeitspeicher verbunden,
Aber auch bei Festplatten, CD-ROM-Laufwerke usw. kommt der Cache zur Anwendung.

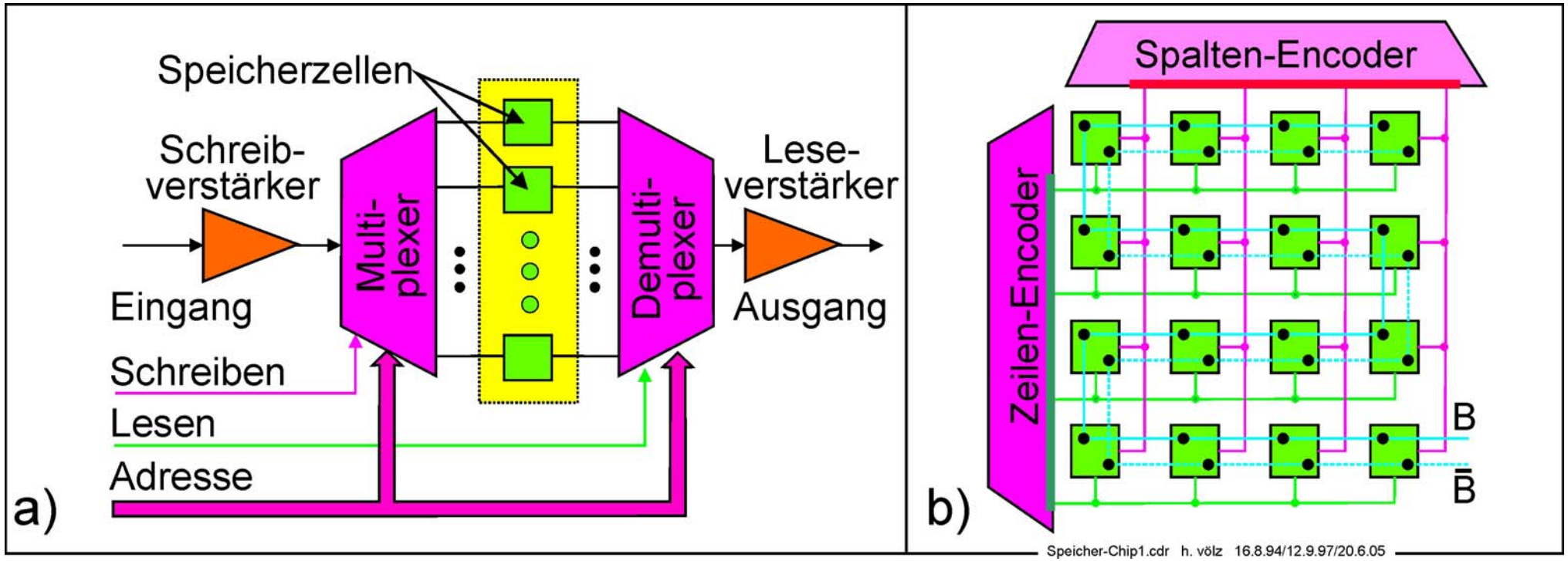


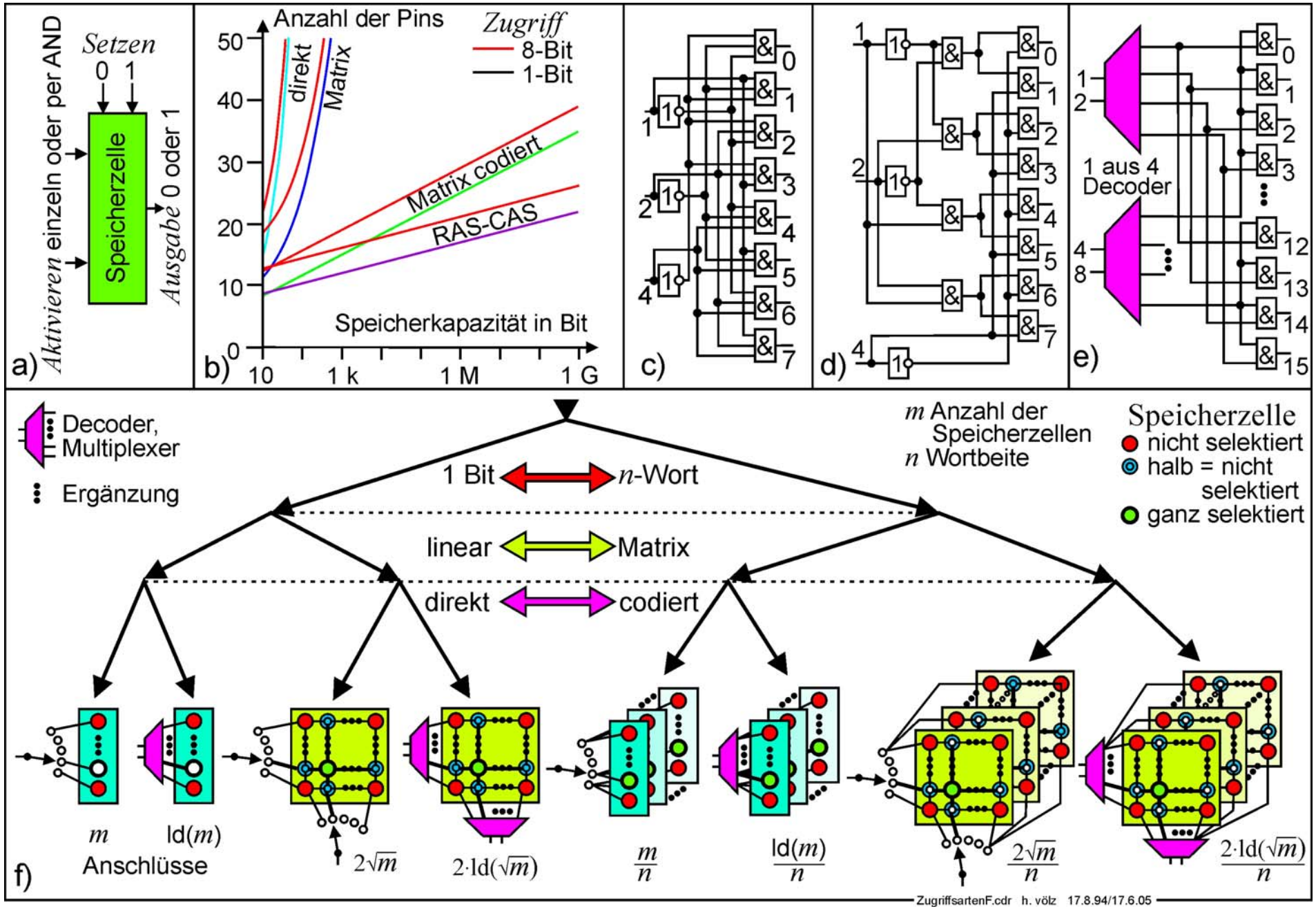
Die ***Geschwindigkeiten der CPU*** wurden um 1985 deutlich schneller als die der ***Speicher***.
Dieser Abstand hat sich seitdem ständig weiter vergrößert. Das machte den/die Cache notwendig.



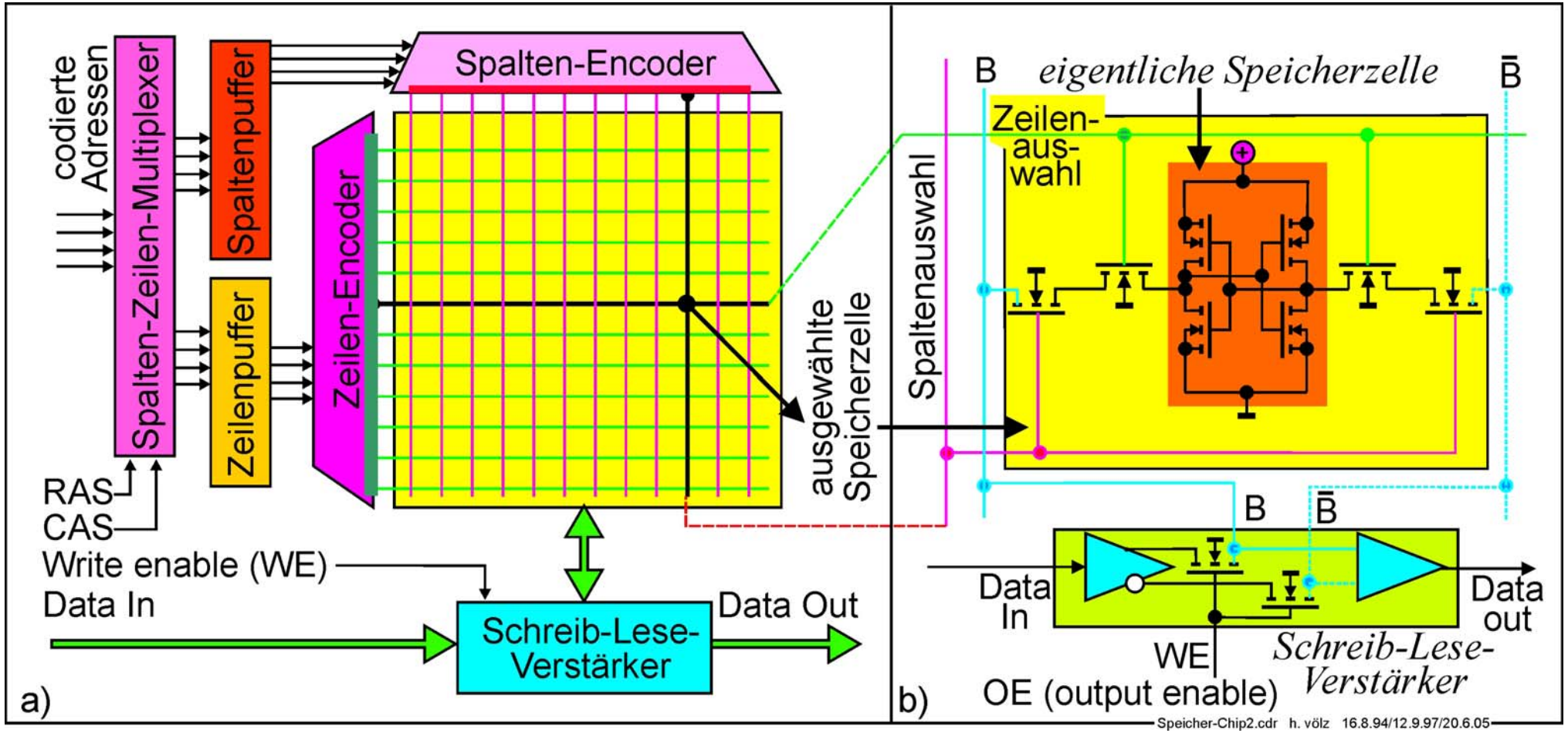
Speichermatrizen

Speicher bestehen aus vielen Speicherzellen, auf die ***bit- oder wortweise zugegriffen*** werden muss
Infolge der ***begrenzten Anschlüsse*** (pin) sind besondere Schaltungen für die ***Adresswahl*** notwendig
Bis zu etwa 100 Zellen genügten Multiplexer für die Auswahl.
Bei den späteren ***Matrix***-Schaltungen waren Zeilen- und Spalten-Encoder notwendig.
Bei großer Anzahl der Zeilen/Spalten benötigt das mehrstufige Encoding bereits deutliche Verzögerungen.
Spätern kam die Umschaltung per ***RAS-CAS*** hinzu. (**r**ow, **c**olumm **a**ddress **s**elekt=gespeicherte Zeilen-, Spaltenwahl)
Mit dem eventuellen Wort-Zugriff entstehen viele Codierungsvarianten (nächstes Bild)




a)
Aktivieren einzeln oder per AND
Setzen
0 1
Speicherzelle
Ausgabe 0 oder 1
b)
Anzahl der Pins
Zugriff
8-Bit
1-Bit
direkt
Matrix
Matrix codiert
RAS-CAS
Speicherkapazität in Bit
10
1 k
1 M
1 G
c)
d)
e)
1 aus 4 Decoder
Decoder, Multiplexer
Ergänzung
1 Bit
n-Wort
linear
Matrix
direkt
codiert
m Anzahl der Speicherzellen
n Wortbeite
Speicherzelle
nicht selektiert
halb = nicht selektiert
ganz selektiert
m
ld(m)
Anschlüsse
2√m
2·ld(√m)
m/n
ld(m)/n
2√m/n
2·ld(√m)/n
f)
ZugriffsartenF.cdr h. völz 17.8.94/17.6.05

Prinzip-Schaltung eines vollständigen **Speicherchips**
Eine statischen Speicherzelle (sRAM) verlangt 6 (4 +2*R) Transitoren
Neben der eigentlichen Speicher-Matrix sind ***viele zusätzliche Baugruppen notwendig***

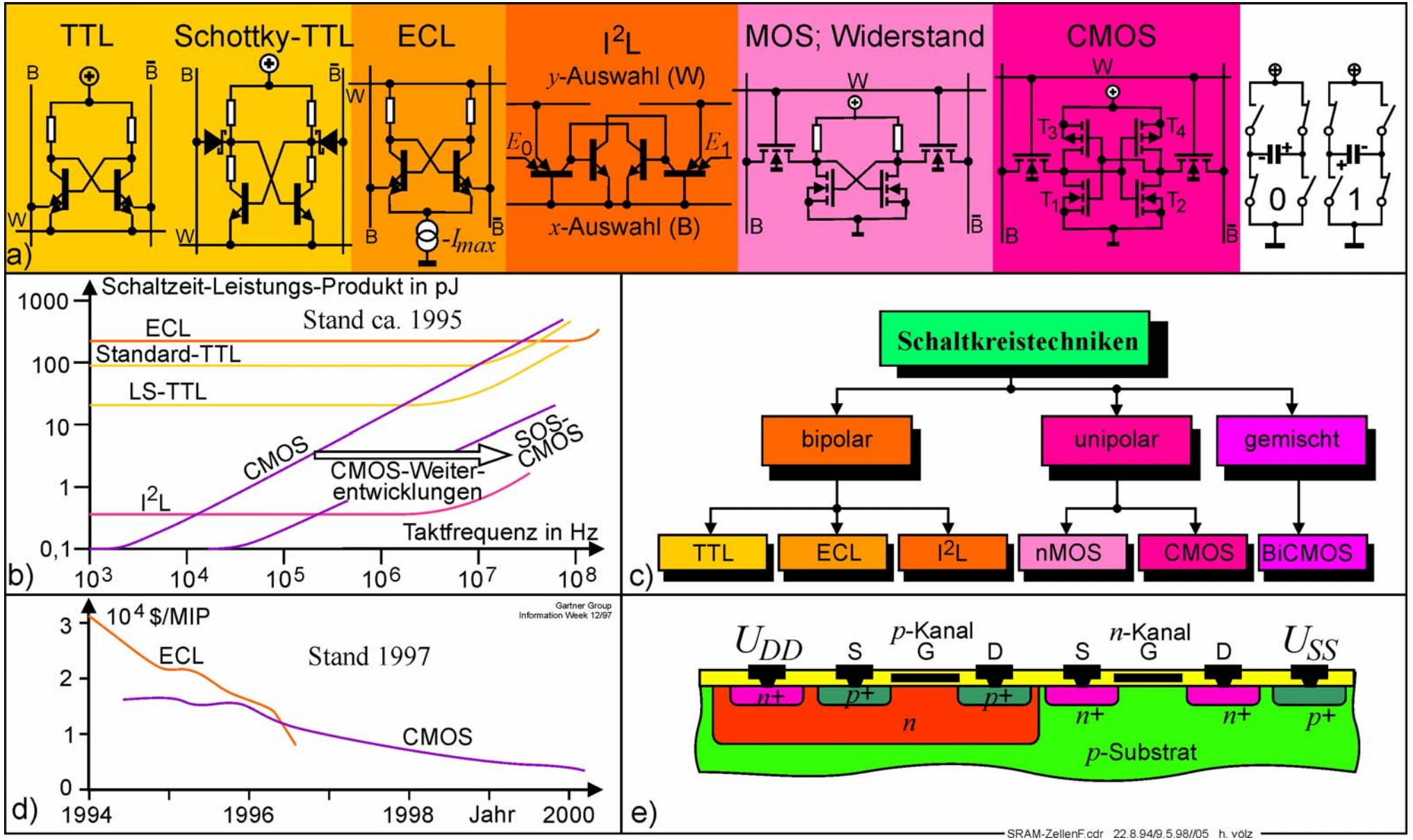


Flipflop-Arten

Mit der Entwicklung entstanden mehrere ***Varianten der logischen Schaltungen***
Das begann mit der TTL-Technik (transistor-transtor-logik) und führte über Schottky-TTL, ECL (emitter coupled logk) und I^2L ( ) zur MOS- (metal oxid silizium) und schließlich CMOS-Technologie. (complimentary) (Bild a)
Dabei sank der ***Leistungverbrauch je Umschaltung*** und gleichzeitig stieg die ***Schalt-Geschwindigkeit*** (Bild b)

Um 1996 wurde schließlich die schnellste **ECL-*Technik*** völlig durch die **CMOS-*Technik*** abgelöst (Bild d).
Letztere ist heute Standard der integrierte elektronischen Schaltung (Bild e)

Diese Entwicklung spiegelt sich voll bei den Flipflop der Speicherzellen wieder (Bild a)
Dabei ist schließlich die heute übliche ***6-Transistor Speicherzelle*** entstanden.
Eigentlich würden 4 Transistore (davon 2 für das Flipflop und 2 für die Speicherzellenauswahl) genügen
Es ist aber ökonomischer der ***Arbeitswiderstände*** eines MOS-Flipflop ***durch FET*** zu ersetzen.
Das kostet einmal ***weniger Chipfläche***, die schließlich den ***Preis eines integrierten Schaltkreises*** bestimmt.
Hinzu kommt, dass nur so der deutlich ***leistungsärmere CMOS-Flipflop*** möglich ist.
Bei ihm fließen dann in beiden Zuständen (0 ***und*** 1) ***nur Sperrströme***.
Beim Schalten müssen nur die „Verlust-“ Kapazitäten umgeladen werden.


TTL
Schottky-TTL
ECL
I²L
MOS; Widerstand
CMOS
y-Auswahl (W)
x-Auswahl (B)
a)
Schaltzeit-Leistungs-Produkt in pJ
Stand ca. 1995
ECL
Standard-TTL
LS-TTL
CMOS
SOS-CMOS
CMOS-Weiter-entwicklungen
I²L
Taktfrequenz in Hz
b)
Schaltkreistechniken
bipolar
unipolar
gemischt
TTL
ECL
I²L
nMOS
CMOS
BiCMOS
c)
10⁴ $/MIP
Gartner Group
Information Week 12/97
Stand 1997
ECL
CMOS
Jahr
d)
p-Kanal
n-Kanal
p-Substrat
e)
SRAM-ZellenF.cdr 22.8.94/9.5.98//05 h. völz

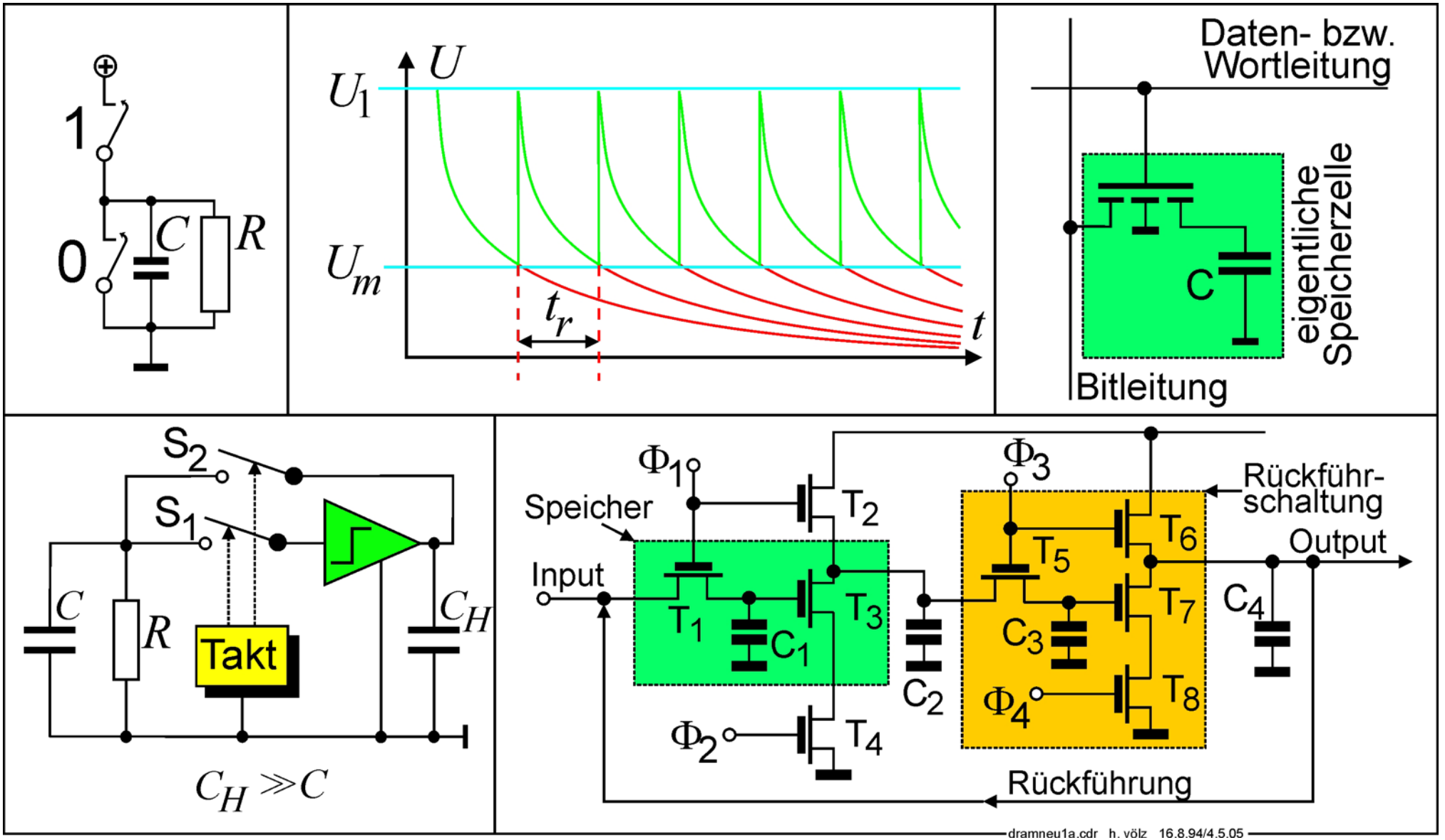
1-Transitor-Zelle = dRAM

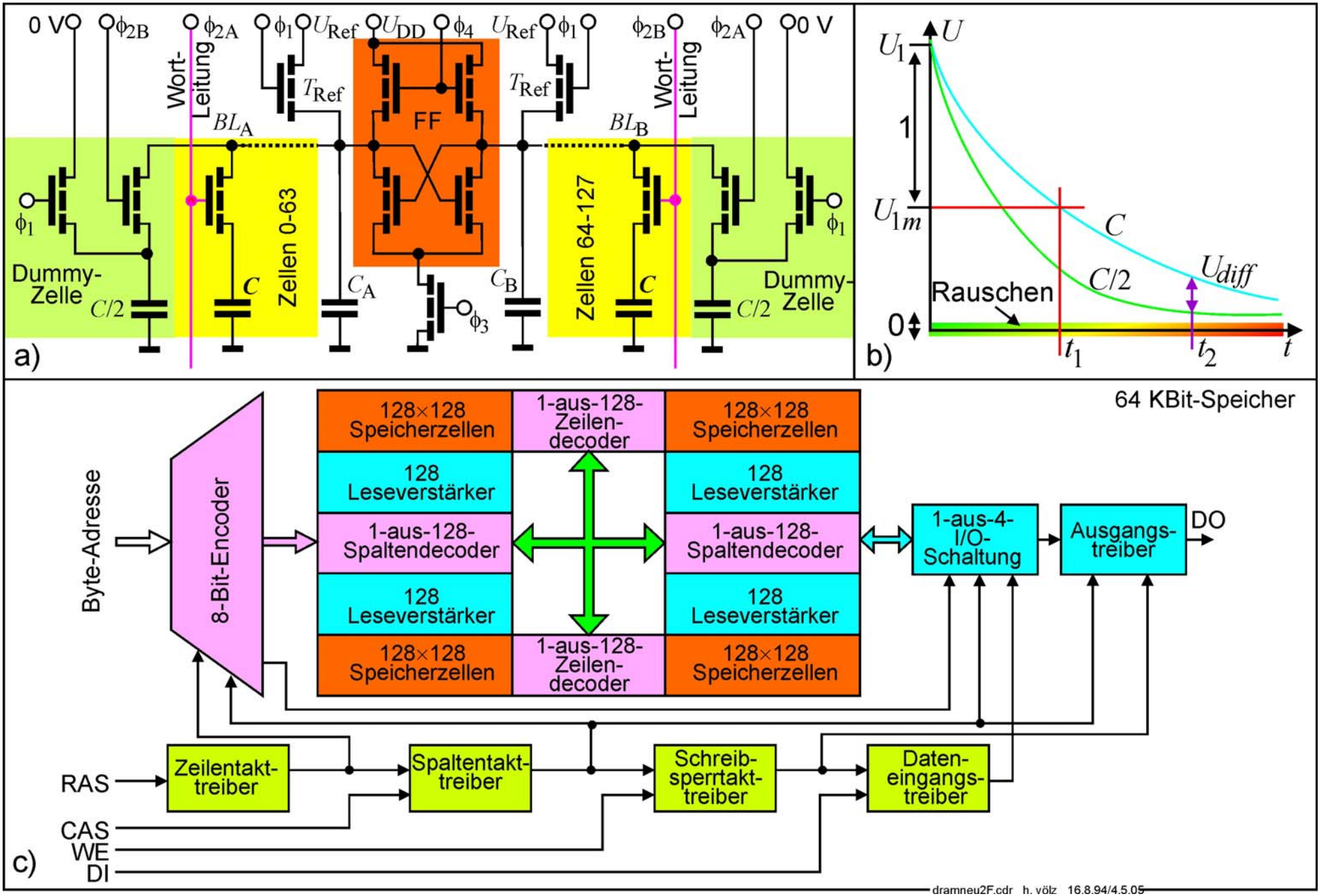
Eine deutliche ***Verringerung der Chipfläche (und Preis)*** realisiert der dRAM mit einem Transistor und C
Die Entwicklung hierzu begann 1966 bei IBM durch ROBERT DENNARD.
Schon bei den Relais- und Röhrenrechnern gab es ***Erfahrungen*** mit C-Speichern
1970 war der dRAM technologisch reif: Intel: dRAM-Typ „1103“
Der erste Rechner hiermit war die IBM 370/145 von 1970

Jeder Kondensator hat ***Verluste durch einen Widerstand R.*** Die vorhandene Spannung sinkt daher gemäß

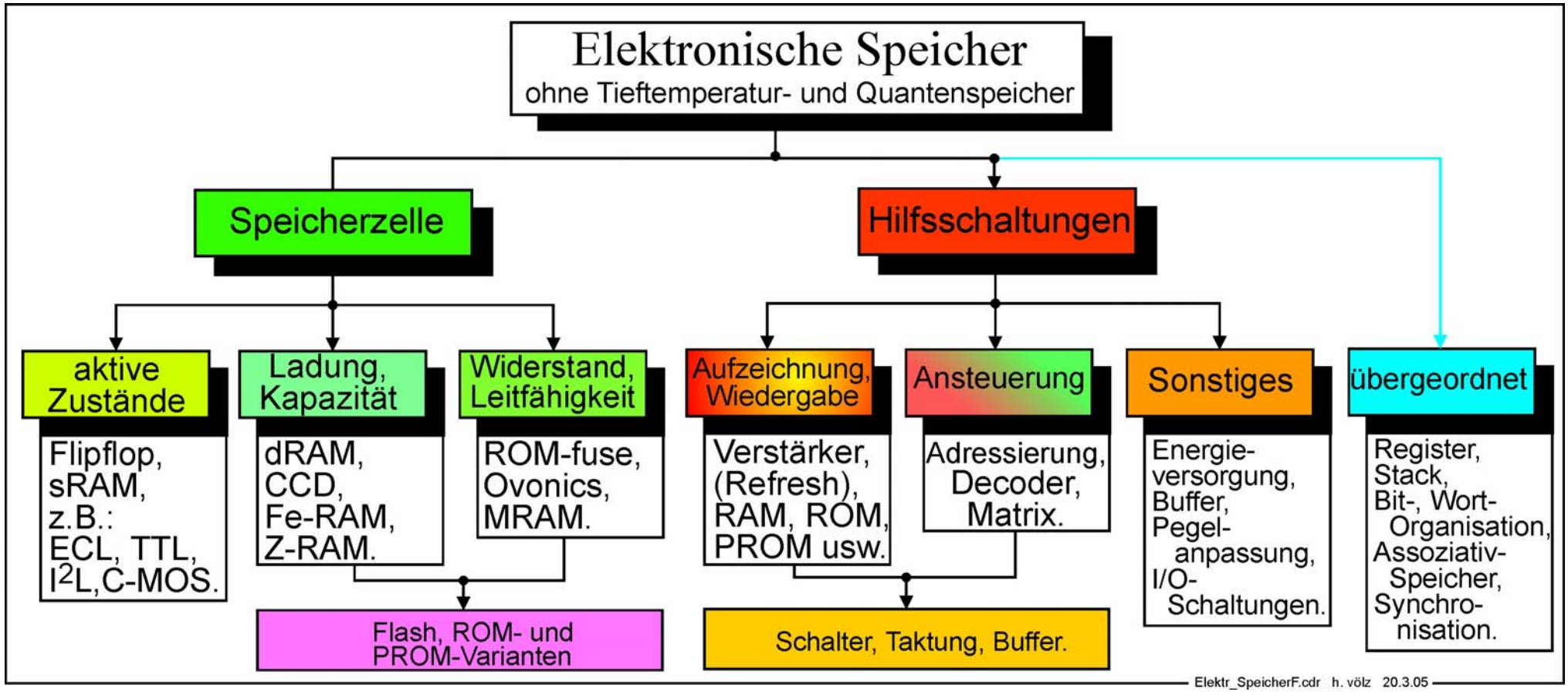
$$U_C = U_1\left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right).$$

Deshalb muss für die 1 ein ***Toleranzbereich mit minimalem U_m*** festgelegt werden. Er wird bei der Zeit t_r erreicht.
Dann muss ***periodischer*** ein ***refresh*** (englisch auffrischen) erfolgen, die typische Zeit hierfür beträgt $t_r \approx 60$ ms.
Das Refresh erfolgt ***zeilenweise***, ≈150 ns ≈1 % der Betriebszeit, alle 15 µs eine neue Refresh-Zeile.
Hierfür ist eine ***komplexe Elektronik*** notwendig: 2 Schalter + OV + großer Hilfskondensator C_H
Während des Refresh ist kein Lesen und Schreiben möglich, ***Dummy-Zellen*** verbessern den Störabstand beim Lesen.
Jedes Lesen entlädt Kondensator zusätzlich, deshalb ist anschließend immer ein zusätzliches Refresh notwendig
Das bedeutet große Zeitverluste und eine ***hohen Energieverbrauch*** → beim 1-GBit-Chip ≈5 Watt!
Insgesamt wird so die komplette Speicherschaltung noch umfangreicher
Für große Speicherkapazitäten müssen zur Zellenauswahl ***mehrere Matrizen*** (Speicherblöcke) aufgebaut werden.
Das übernächste Bild zeigt den Aufbau eines 64-KBit-Speichers von 1980 (inzwischen ist alles deutlich komplexer).
Die 4 Blöcke waren damals 128×128 Bit groß mit je 256 Aufzeichnungs-Wiedergabe-Verstärkern.
Inzwischen sind nicht nur die Böcke erheblich größer geworden, z.B. 4096×4096.


1
0
C
R
U
U_1
U_m
t_r
t
Daten- bzw.
Wortleitung
C
eigentliche
Speicherzelle
Bitleitung
S_2
S_1
C
R
Takt
C_H
$C_H \gg C$
Φ_1
Speicher
Input
T_1
T_2
T_3
C_1
Φ_2
T_4
C_2
Φ_3
T_5
T_6
T_7
C_3
Φ_4
T_8
Rückführ-
schaltung
Output
C_4
Rückführung
dramneu1a.cdr h. völz 16.8.94/4.5.05


0 V
ϕ_{2B}
ϕ_{2A}
Wort-Leitung
ϕ_1
U_{Ref}
U_{DD}
ϕ_4
T_{Ref}
FF
BL_A
BL_B
Dummy-Zelle
C/2
C
Zellen 0-63
Zellen 64-127
C_A
C_B
ϕ_3
a)
U
U_1
1
U_{1m}
U_{diff}
Rauschen
0
t_1
t_2
t
b)
64 KBit-Speicher
Byte-Adresse
8-Bit-Encoder
128×128 Speicherzellen
1-aus-128-Zeilen-decoder
128 Leseverstärker
1-aus-128-Spaltendecoder
1-aus-4-I/O-Schaltung
Ausgangs-treiber
DO
RAS
CAS
WE
DI
Zeilentakt-treiber
Spaltentakt-treiber
Schreib-sperrtakt-treiber
Daten-eingangs-treiber
c)
dramneu2F.cdr h. völz 16.8.94/4.5.05

Was alles zum elektronischen Speicher gehört



Folgen des Zusatzaufwandes

Bei allen RAM-Bausteinen benötigen die eigentlichen Speichermatrizen nur noch einen kleinen Flächenanteil
Auch ihr relativer Leistungsverbrauch ist vergleichsweise gering.
Für einen typischen 64-KBit-Speicher um 1980 galt die folgende Tabelle Angaben in %

Baugruppe	Fläche	Leistung
Speichermatrizen	50	4
Decoder	15	4
Taktgeneratoren	10	60
Leseverstärker	7	25
Sonstiges	10	7
Freifläche	8	0

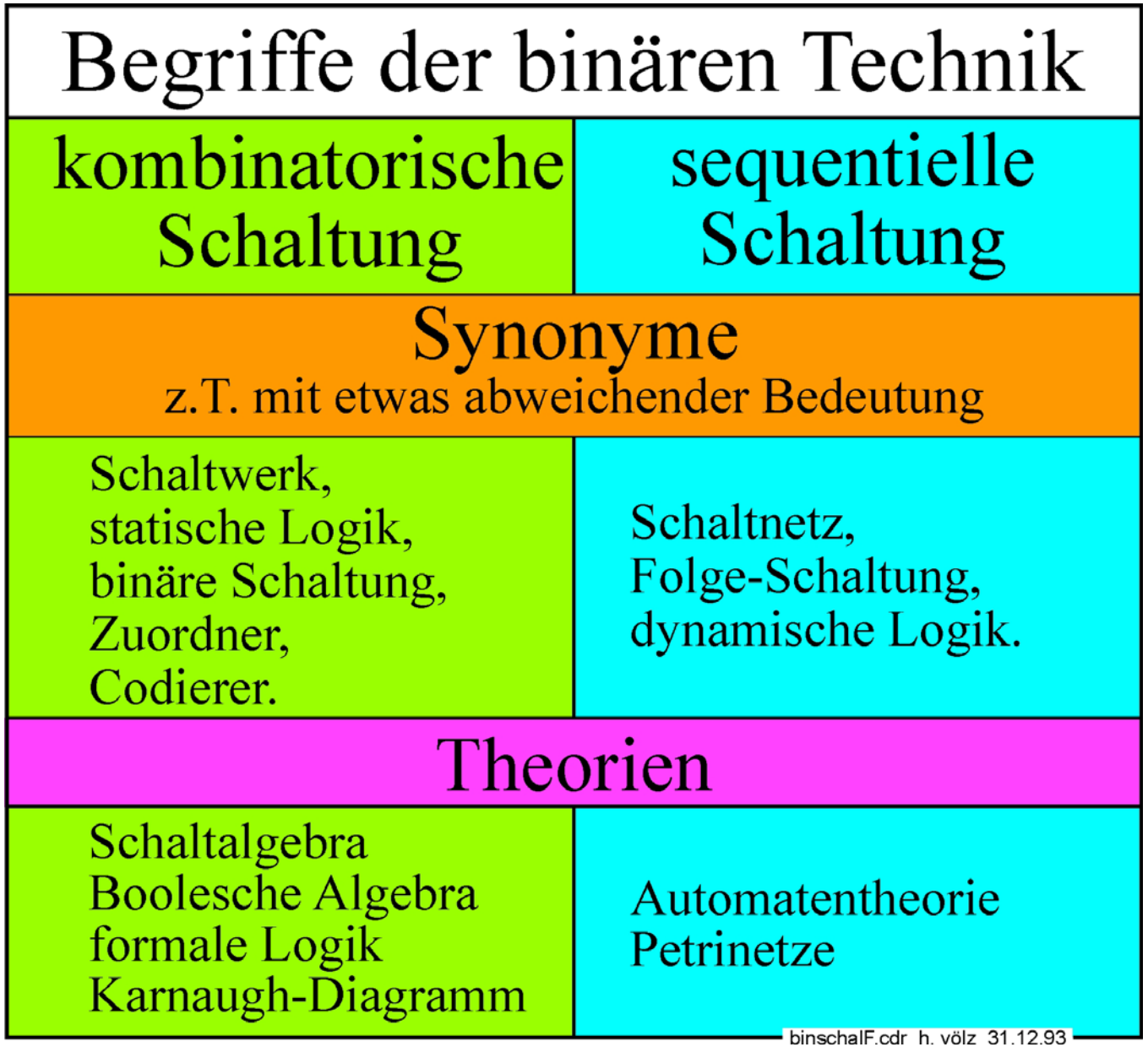
Inzwischen ist der Flächenanteil für die Matrizen erheblich weiter gesunken
Durch die höher gewordenen ***Taktfrequenzen ist der Leistungsverbrauch*** stark gestiegen.
Trotz Reduzierung der ***Betriebspannung*** auf wenige Volt ist daher eine aktive erheblich Kühlung erforderlich
Auch bei sRAM sind die Verhältnisse ähnlich, wenn auch nicht so ausgeprägt vorhanden

Binäre Schaltungen

Je nach ***Hochschule und Lehrbuch*** werden sie unterschiedlich benannt. Auch die dazugehörenden ***Theorien*** werden z. Z. unterschiedlich benannt. Deshalb kann die nebenstehende Aufstellung nützlich sein.

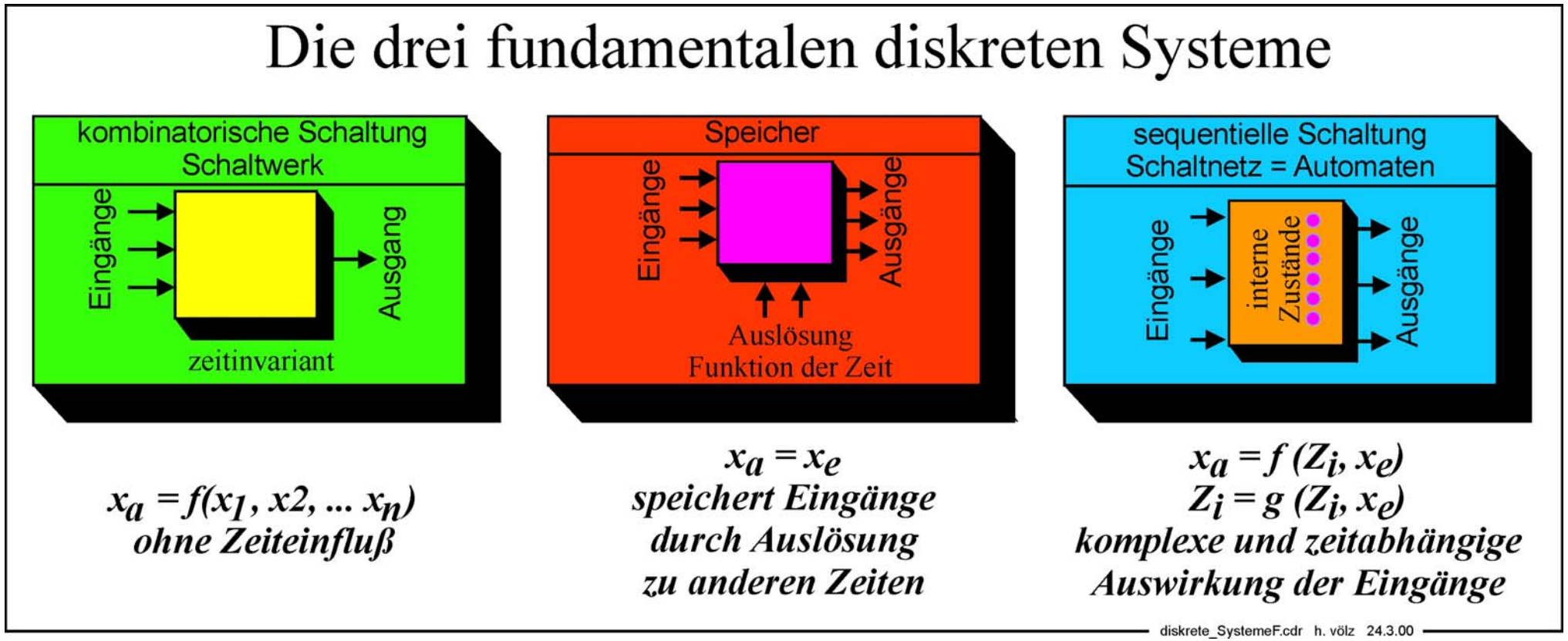
Doch wesentlich bedeutsamer ist es, dass nirgends ***der Speicher*** als eigene Baugruppe auftaucht. Auch gibt es nirgends einen Lehrstuhl für ihn.

Das ist umso erstaunlicher, da er nach wie vor die ***Leistungsfähigkeit der Halbleitertechnologie*** bestimmt hat.



Die eigentlichen elektronischenGrundschaltungen

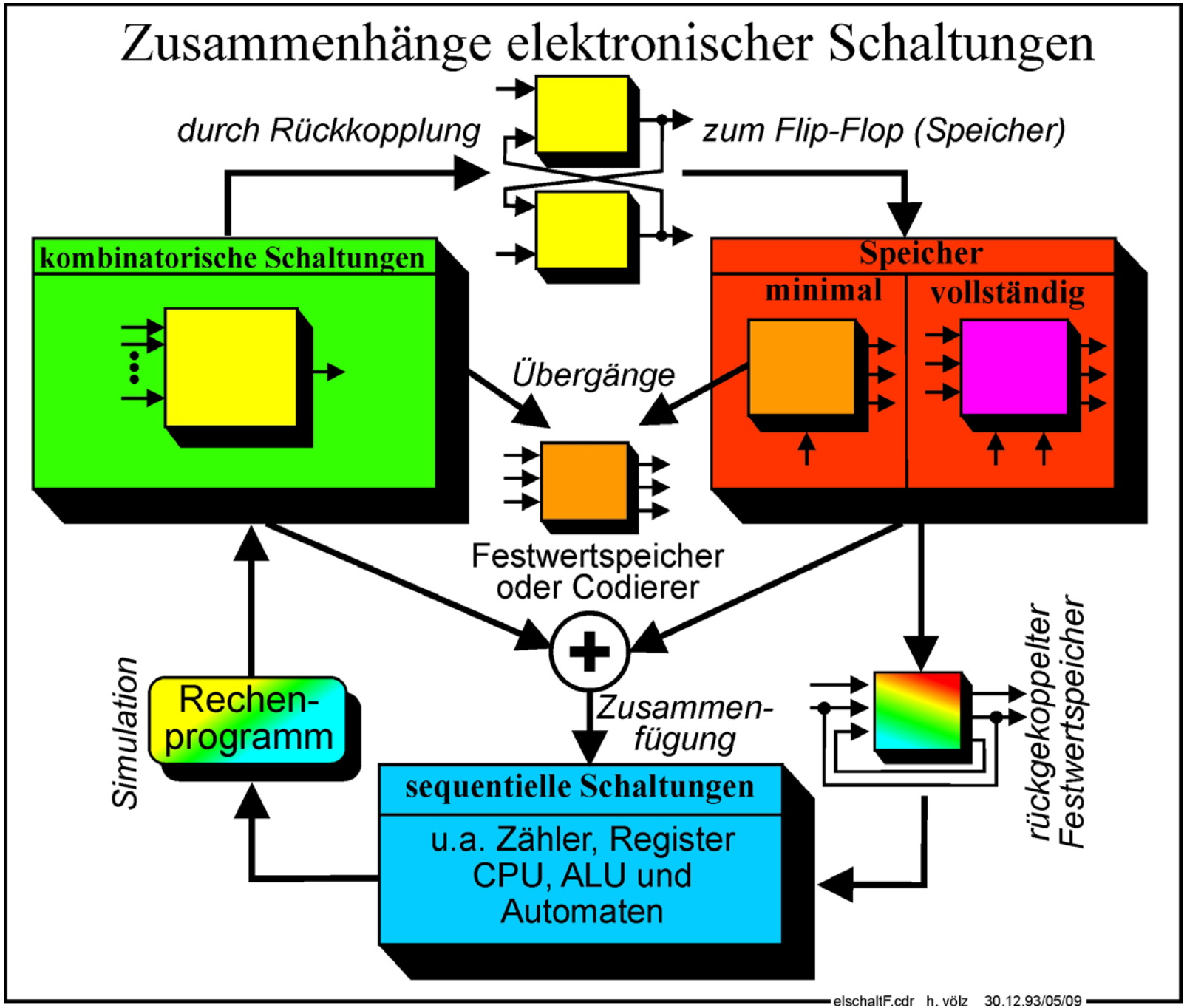
Eigentlich sind die digitalen Grundschaltungen der Elektronik ***der Speicher und die kombinatorische Schaltung***
Die ***sequentielle Schaltung*** ist nämlich ein ***Zusammenfügen aus beiden***



Dies wird noch deutlicher, wenn wie im nächsten Bild die Zusammenhänge der drei Schaltung betrachtet werden.

Durch Rückkopplung u. a. Flipflop lassen sich aus kombinatorischen Schaltungen Speicher und erst dann sequentielle Schaltungen bilden

Insgesamt gibt es zwischen den drei Grundschaltungen alle möglichen Übergänge

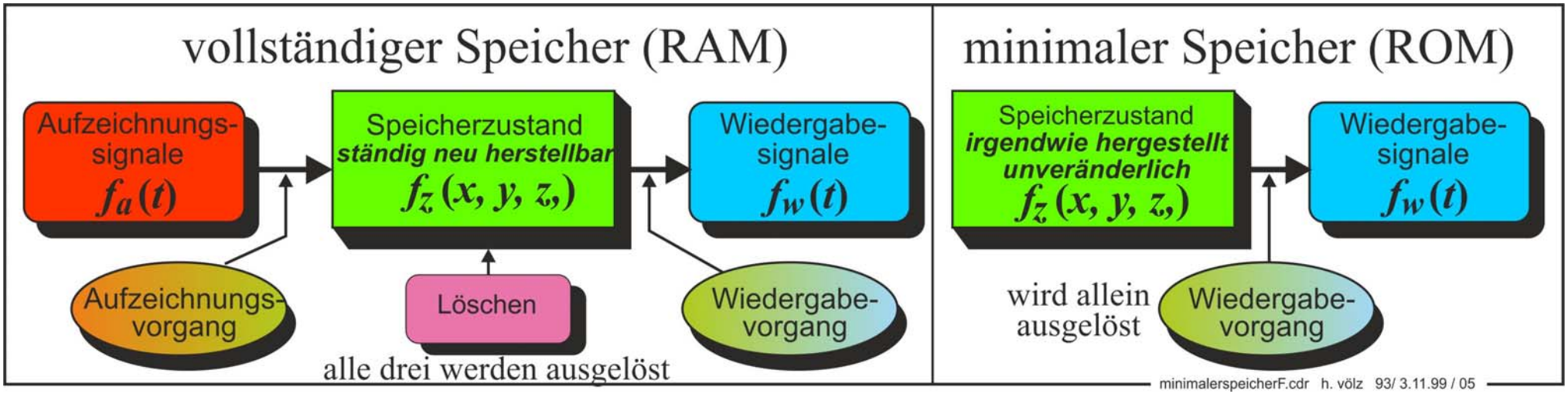


Abgerüstete, abgewandelte Speicher

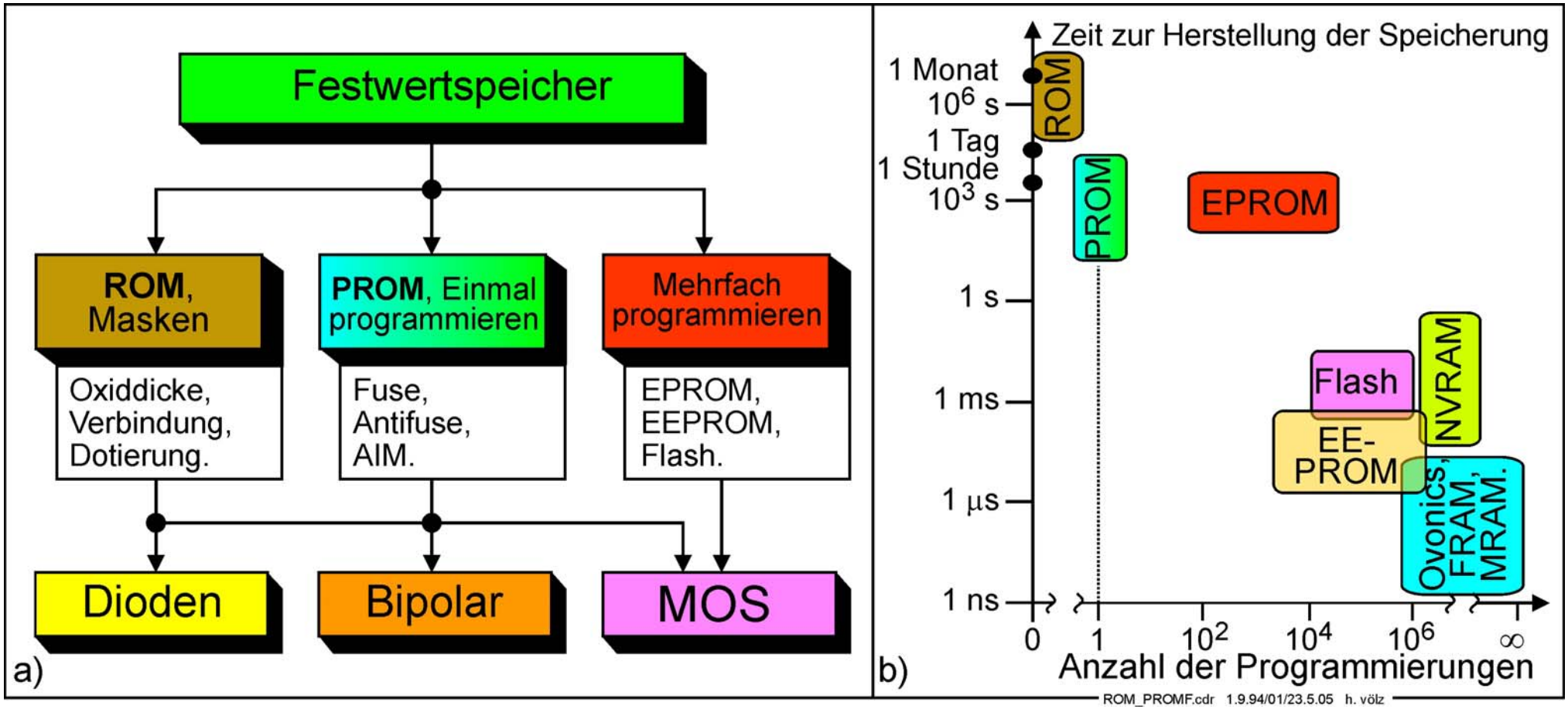
Die bisher dargestellten Speicher sind durch vier Kennzeichnen bestimmt

Aufzeichnen, Speicherzustand, Wiedergabe und Löschen

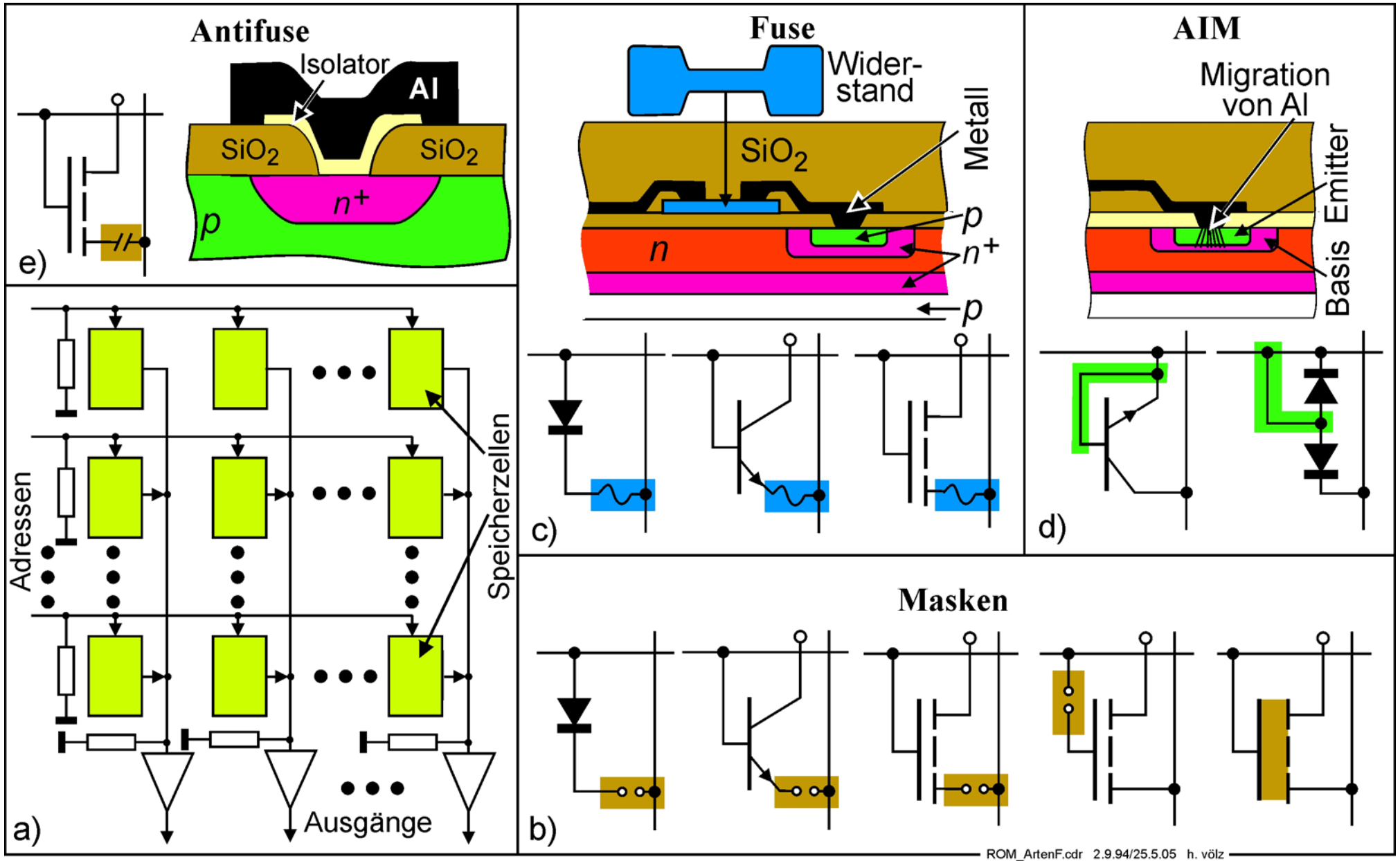
Bei einigen Anwendungen kann aber durchaus auf Aufzeichnen und Löschen verzichtet werden.
So ergibt sich das folgende vereinfachte Schema des ***minimalen Speichers***



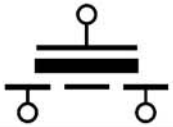
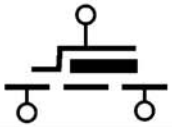
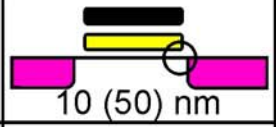
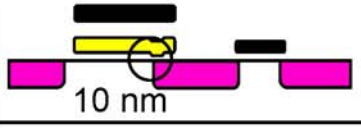
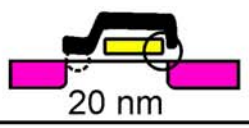
Für ihn müssen jedoch zuvor die erforderlichen ***Speicherzustände hergestellt worden sein***.
Dies kann bei der ***Produktion*** (ROM) oder einmaliges ***programmieren*** (PROM) erfolgen.
Zuweilen ist die Programmierung auch ein- oder mehrmalig rückgängig zu machen, z. B. beim EPROM/Flasch.
Das führt zur folgenden Einteilung.

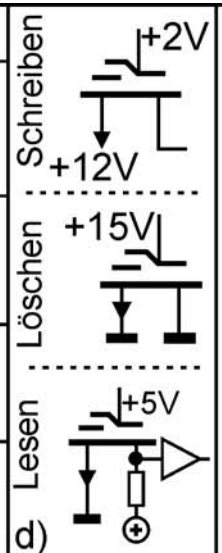


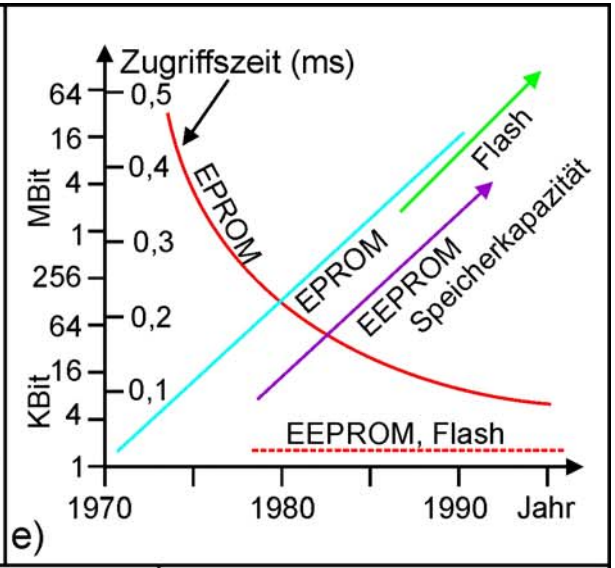
Masken-ROM werden meist weitgehend vorgefertigt.
Erst beim konkreten Auftrag wird mit der speziellen letzten Maske der eigentliche Speicherzustand realisiert.
Beim heute unüblichen PROM werden quasi Verbindungen (≈Sicherungen) zerstört oder neu erzeugt.
Bei den EPROM und EEPROM wird die Ladung zwischen dem Gate und Substrat eines FET geändert.
Beim Flash geschieht das blockweise; dadurch wird eine höhere Geschwindigkeit erreicht.

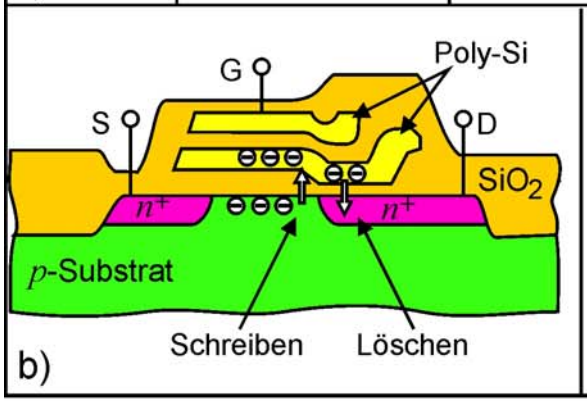

Antifuse
Isolator
Al
SiO2
SiO2
n+
p
e)
Fuse
Wider-
stand
Metall
SiO2
p
n+
n
p
c)
AIM
Migration
von Al
Basis
Emitter
d)
Adressen
Speicherzellen
Ausgänge
a)
Masken
b)
ROM_ArtenF.cdr 2.9.94/25.5.05 h. völz

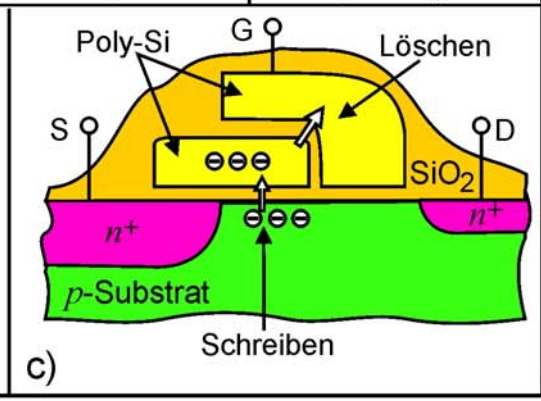
Ein Technologie-Vergleich

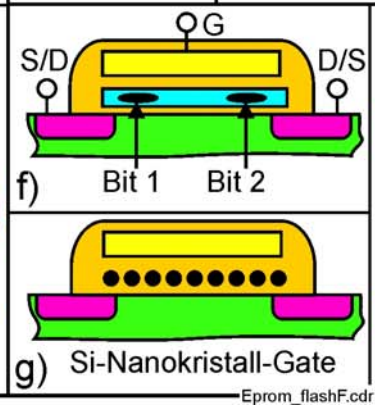
Name	EPROM	EEPROM	Flash-RAM
Schaltbild			
Struktur	 10 (50) nm	 10 nm	 20 nm
Löschen	UV 20 Minuten S, G: 10 MV/cm	Tunnelung 5 ms/Bit S, G: 4 MV/cm	heiße Elektronen, Tunnelung; 1 s G: 4 MV/cm
Schreiben a)	heiße Elektronen 100 ms D, G: 1 mA	Tunnelung 5 ms S, G: 10 pA	heiße Elektronen 10 ms S, G: 1 µA

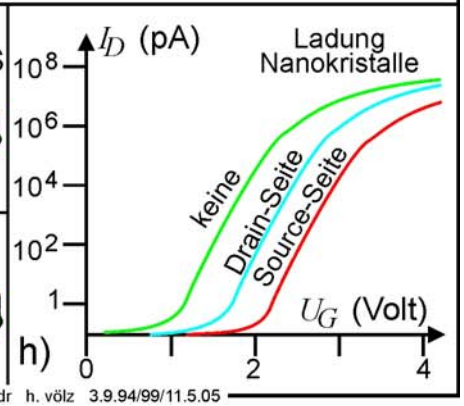












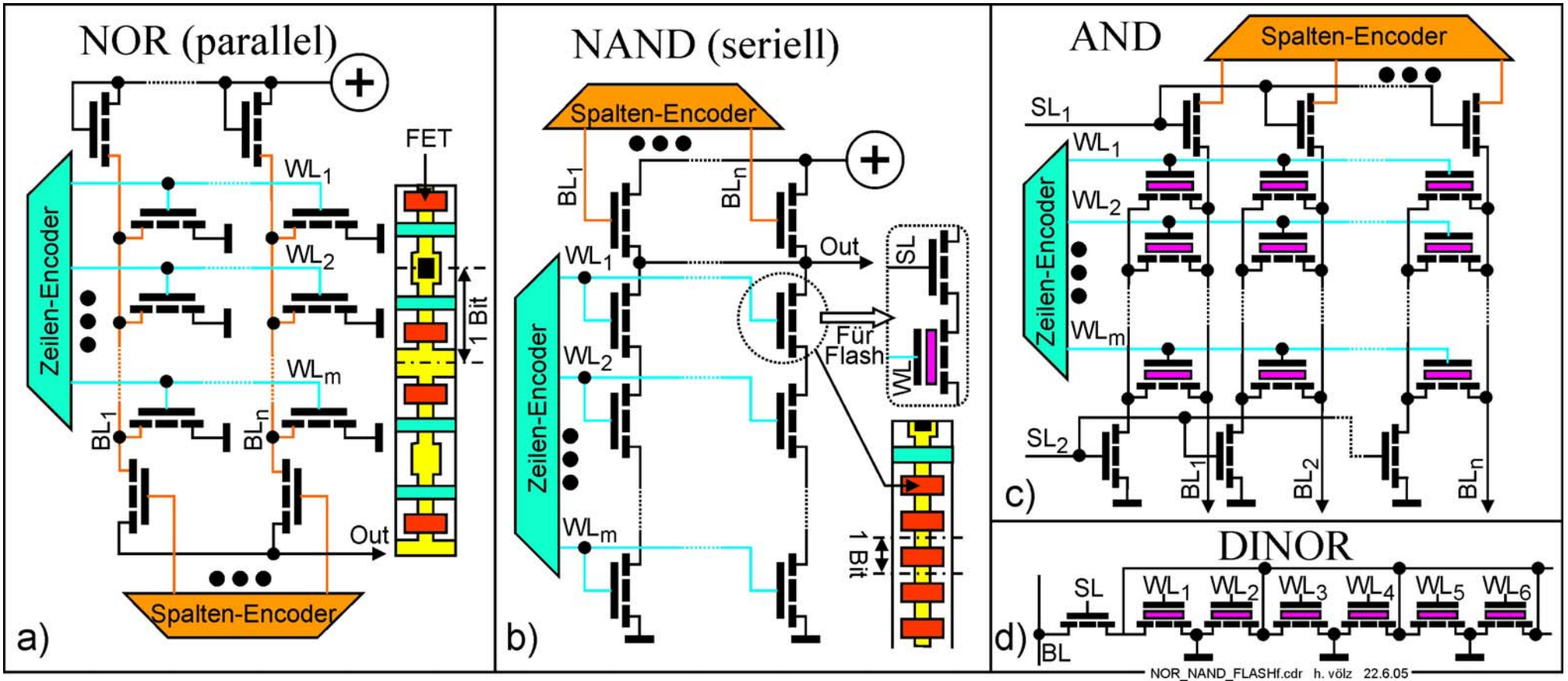
Eprom_flashF.cdr h. völz 3.9.94/99/11.5.05

Beim EPROM (erasable) wird nur das (gelbe) unverbundene Zusatzgate geladen bzw. mit UV entladen
Beim EEPRON (eletrical) dient ein weiteres FET zum Laden und Entladen (unterschiedliche Spannungen)
Beim Flash sind nur noch die Schreib- und Löschvorgänge verbessert, wesentlich ist ihr blockweiser Betrieb.

Vergleich von NOR- und NAND-Flash

Je nach der Blockstruktur werden 4 Flash-Arten unterschieden. Wichtig sind vor allem das NOR- und NAND-Flash Ihren Aufbau – einschließlich des seltenen AND- und DINOR-Flash –zeigt das folgende Bild

	NOR	**NAND**
Vorteile	Wahlfreier Lesezugriff 60 - 90 ns für 16 Bit-Wort Ersatz für EEPROM Höhere Zuverlässigkeit Mikroprozessortauglich	Platzbedarf ≈ $^{2}/_{5}$ NOR Programmieren 2 MB/s Löschen 5 MB/s Massenspeicher, z.B. Speicherkarten
Nachteile	Höherer Platzbedarf Programmieren 0,2 MB/s Löschen 0,08 MB/s	Serieller Zugriff mit 15 µs/Seite (528 Bytes)
Schnittstelle	SRAM-ähnlicher Bus	gemultiplextes I/O
Zellgröße	groß	klein
Lesen	schnell	langsam
Programmieren (Byte)	schnell	langsam
Programmieren (KByte)	langsam	schnell
Löschen	langsam	schnell
Leistungsaufnahme	relativ hoch	gering
Fehleranfälligkeit	gering	erheblich, wird korrigiert


NOR (parallel)
Zeilen-Encoder
WL1
WL2
WLm
BL1
BLn
FET
1 Bit
Out
Spalten-Encoder
a)
NAND (seriell)
Spalten-Encoder
BL1
BLn
WL1
WL2
WLm
Zeilen-Encoder
Out
Für Flash
SL
WL
1 Bit
b)
AND
Spalten-Encoder
SL1
WL1
WL2
WLm
Zeilen-Encoder
SL2
BL1
BL2
BLn
c)
DINOR
SL
WL1
WL2
WL3
WL4
WL5
WL6
BL
d)
NOR_NAND_FLASHf.cdr h. völz 22.6.05

NVRAM

non **v**olatile englisch nicht vergänglich, flüchtig

Jede Speicherzelle besteht bei ihm aus einem sRAM und E^2PROM bzw. Flash

1982 wurde der erste Typ von Xicor vorgestellt

Die sRAM-Matrix – jetzt meist dRAM – wird wie üblich betrieben

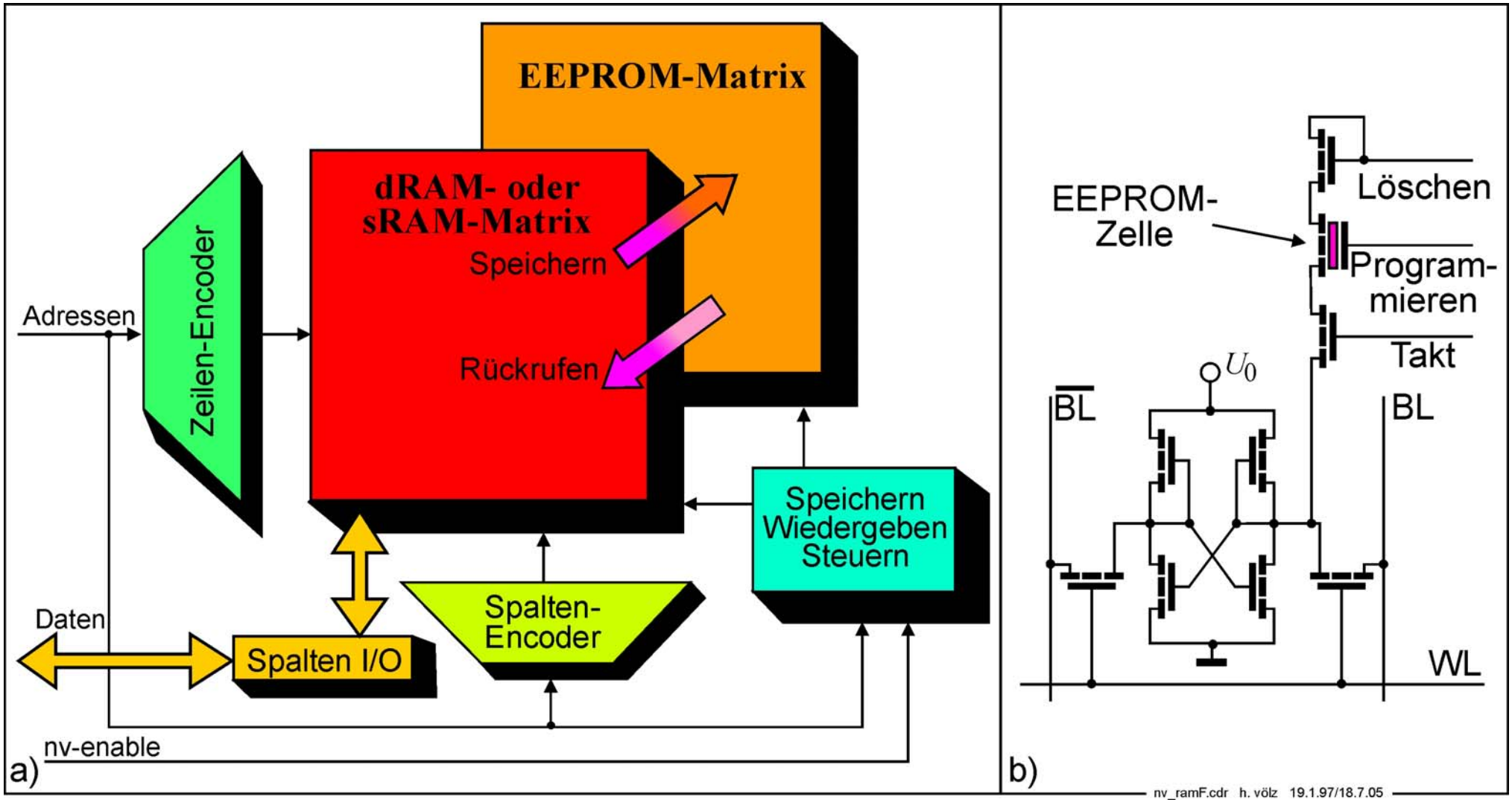
Hier können ***ständig Änderung der Daten*** erfolgen.

Mit einem Takt (meist Sekunden) oder anderen Strategien wird regelmäßig ihr Inhalt in einen E^2PROM übertragen

Bei Stromausfall, Störung usw. können daher die nahezu aktuellen Daten aus E^2PROM zurück geschrieben werden

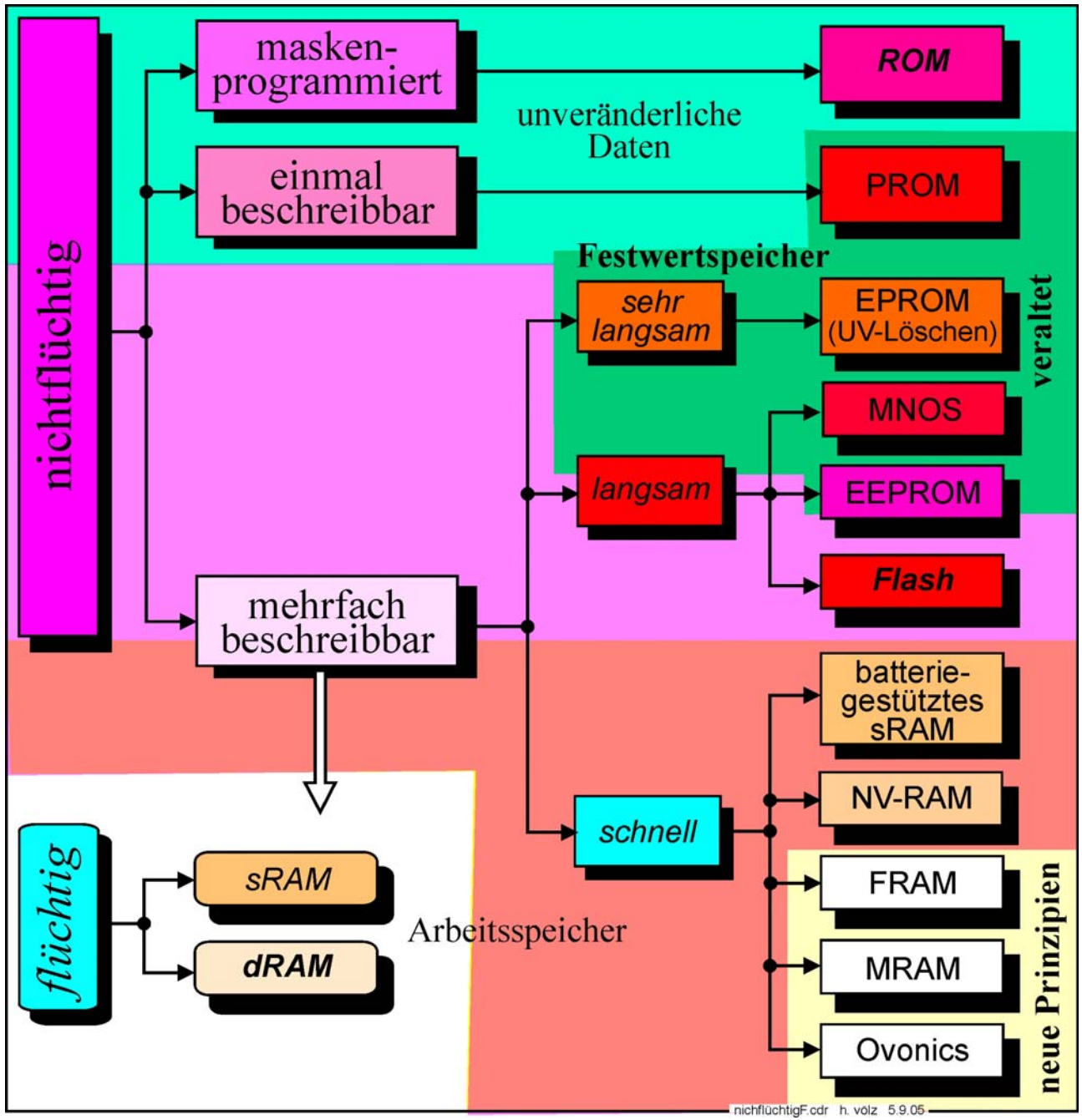
Die Bit-Zelle ist daher sehr aufwändig, deshalb sind nur kleine Speicherkapazitäten möglich.

Für kritische Anwendungen ergibt sich jedoch eine sehr große Sicherheit


EEPROM-Matrix
dRAM- oder
sRAM-Matrix
Speichern
Rückrufen
Adressen
Zeilen-Encoder
Speichern
Wiedergeben
Steuern
Daten
Spalten I/O
Spalten-
Encoder
nv-enable
a)
EEPROM-
Zelle
Löschen
Program-
mieren
Takt
U_0
BL
BL
WL
b)
nv_ramF.cdr h. völz 19.1.97/18.7.05

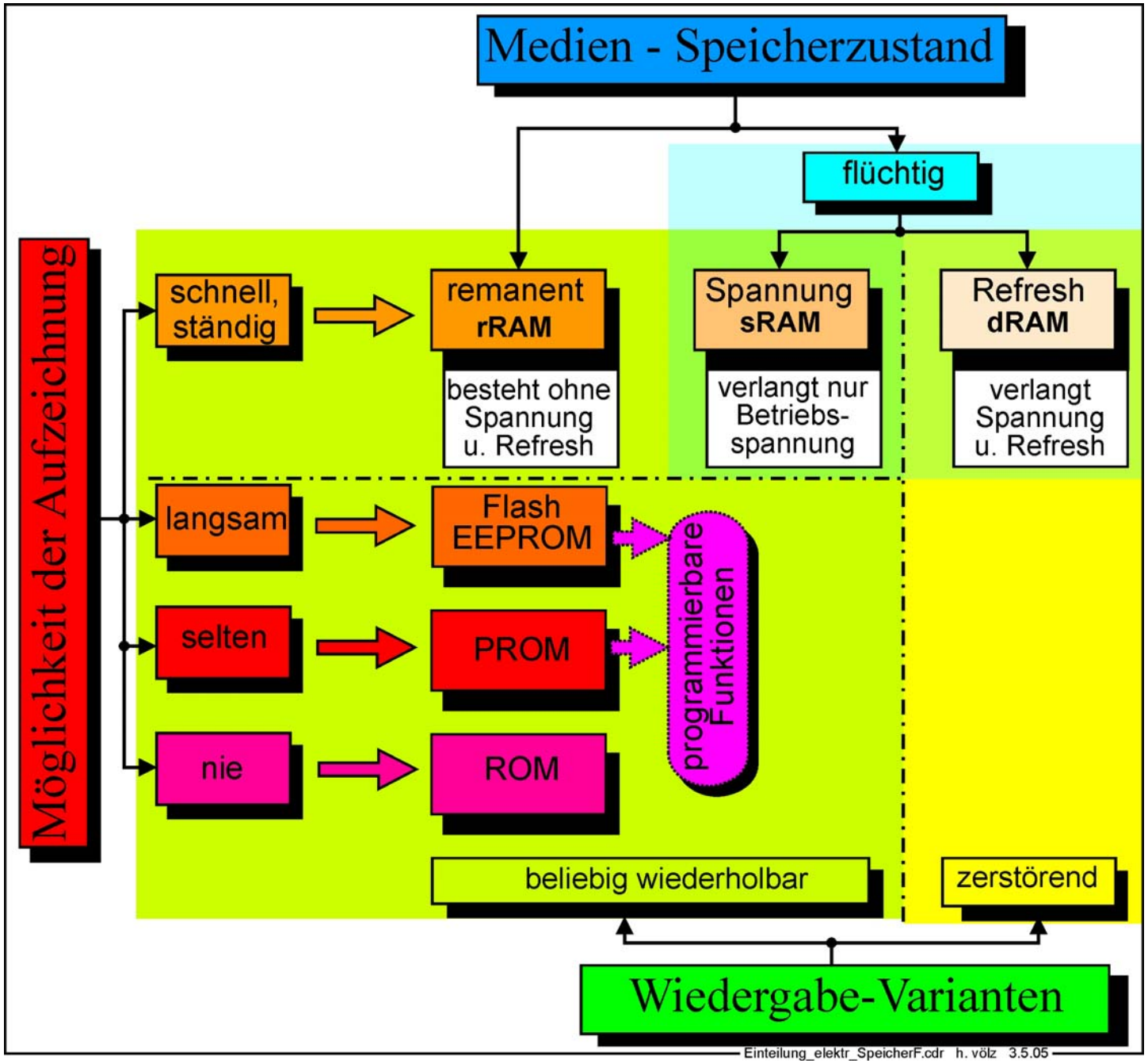
Vielzahl der elektronischen Speicher

Es gibt heute einen großen Variantenreichtum rein elektronischer Speicher.
Hier erfolgt zunächst eine Einteilung nach den ***Eigenschaften der Speicherzustände***
Dafür unterscheidet das folgende Bild einmal nichtflüchtige und flüchtige Speicher.
Bei den ***flüchtigen d-RAM*** ist ein fortlaufender periodischer refresh notwendig.
Bei den ***s-RAM*** muss nur die Betriebspannung der Flipflop immer vorhanden bleiben.
Bei den ***nichtflüchtigen*** Speichern sind die Daten unveränderlich festgelegt.
Bei den ***mehrfach programmierbarem*** ist zu unterscheiden ***wie schnell*** sie umprogrammierbar sind.
Schließlich entstehen hier z.Z. ***neue Prinzipien***, die auch als ***Arbeitspeicher*** eingesetzt werden könnten (s. u.).
Dann werden vielleicht einmal Festplatten und SSD überflüssig.
Sie würden ihre ***Daten nicht einmal verlieren***, wenn der Rechner ausgeschaltet wird.
Dadurch könnte beim Wiedereinschalten ***ohne Rechnerstart*** an der alten Stelle weiter gearbeitet werden.


nichtflüchtig
masken-programmiert
einmal beschreibbar
unveränderliche Daten
ROM
PROM
Festwertspeicher
sehr langsam
EPROM (UV-Löschen)
veraltet
MNOS
langsam
EEPROM
Flash
mehrfach beschreibbar
batterie-gestütztes sRAM
NV-RAM
schnell
FRAM
MRAM
Ovonics
neue Prinzipien
flüchtig
sRAM
dRAM
Arbeitsspeicher
nichflüchtigF.cdr h. völz 5.9.05

Gliederung nach den Speichervorgängen

Der im vorigen Bild genauer betrachtete ***Speicherzustand*** ist im folgenden Bild ***oben blau*** eingetragen.
Der ***Aufzeichnungsvorgang*** lässt sich gut nach der ***erreichbaren Geschwindigkeit*** unterscheiden.
Er muss sich bei ***Arbeitspeichern*** immer ***sehr schnell verändern*** lassen.
Hierfür kommen nur die drei Varianten sRAM und dRAM sowie die neu zu erwartenden rRAM in Betracht, die ihre Daten sogar bei Abschaltung der Betriebsspannung beibehalten.
Bei den Flash und PROM sind im Bild bereits die ***programierbaren Funktionen*** eingetragen, auf die im übernächsten Bild eingegangen wird.
Schließlich ist noch eine Einteilung bei der Wiedergabe nützlich.
Bei einigen Speichern wird nämlich der Speicherzustand ***bei einer Wiedergabe zerstört***.
Das sind heute die dRAM und waren früher die Ferritkerne.


Medien - Speicherzustand
flüchtig
Möglichkeit der Aufzeichnung
schnell, ständig
remanent rRAM
besteht ohne Spannung u. Refresh
Spannung sRAM
verlangt nur Betriebs-spannung
Refresh dRAM
verlangt Spannung u. Refresh
langsam
Flash EEPROM
selten
PROM
nie
ROM
programmierbare Funktionen
beliebig wiederholbar
zerstörend
Wiedergabe-Varianten
Einteilung_elektr_SpeicherF.cdr h. völz 3.5.05

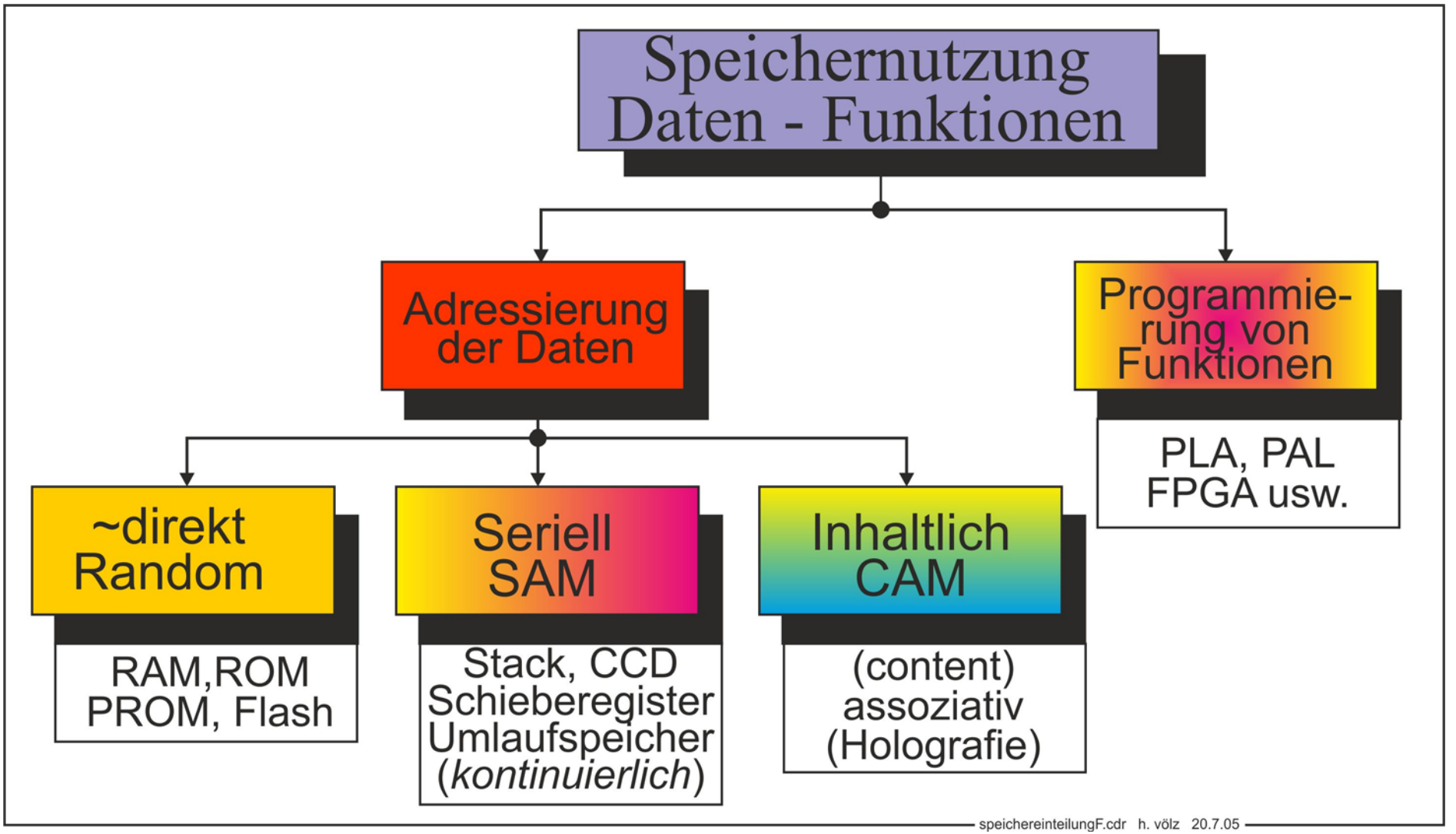
Zwei Sonderfunktionen

Das folgende Bild fügt zwei spezielle Speicher hinzu.

Einmal wird dabei die Zugriffsart zu den Daten behandelt.
Allgemein ist es üblich, die Daten unmittelbar per Adresse (***Random***) oder seriell (umlaufend, ***SAM***) zu suchen.

Obwohl es lange bekannt ist, findet fast nie ein direktes ***Suchen nach dem Inhalt*** statt (***CAM* c**ontend **a**ddress).
Wegen der möglichen sehr hohen Geschwindigkeit könnten sie künftig für große Datenbanken wichtig werden
Ihr sehr spezielled Prinzip wird später in seiner Arbeitsweise erklärt.

Die zweite Sonderfunktion der Speicherung betrifft die ***Programmierung logischer Funktionen***
Sie geht davon aus, dass alle logischen Funktionen u. a. als Kombination aud NAND und NOR herzustellen sind.
Beide sind dazu in programmierbaren Matrizen hintereinander geschaltet angelegt.
Wie das übernächste Bild zeigt, ergeben sich dabei drei Schaltungsmöglichkeiten


Speichernutzung
Daten - Funktionen
Adressierung der Daten
Programmie-rung von Funktionen
PLA, PAL FPGA usw.
~direkt Random
RAM,ROM PROM, Flash
Seriell SAM
Stack, CCD Schieberegister Umlaufspeicher (kontinuierlich)
Inhaltlich CAM
(content) assoziativ (Holografie)
speichereinteilungF.cdr h. völz 20.7.05

Assoziativ-Speicher

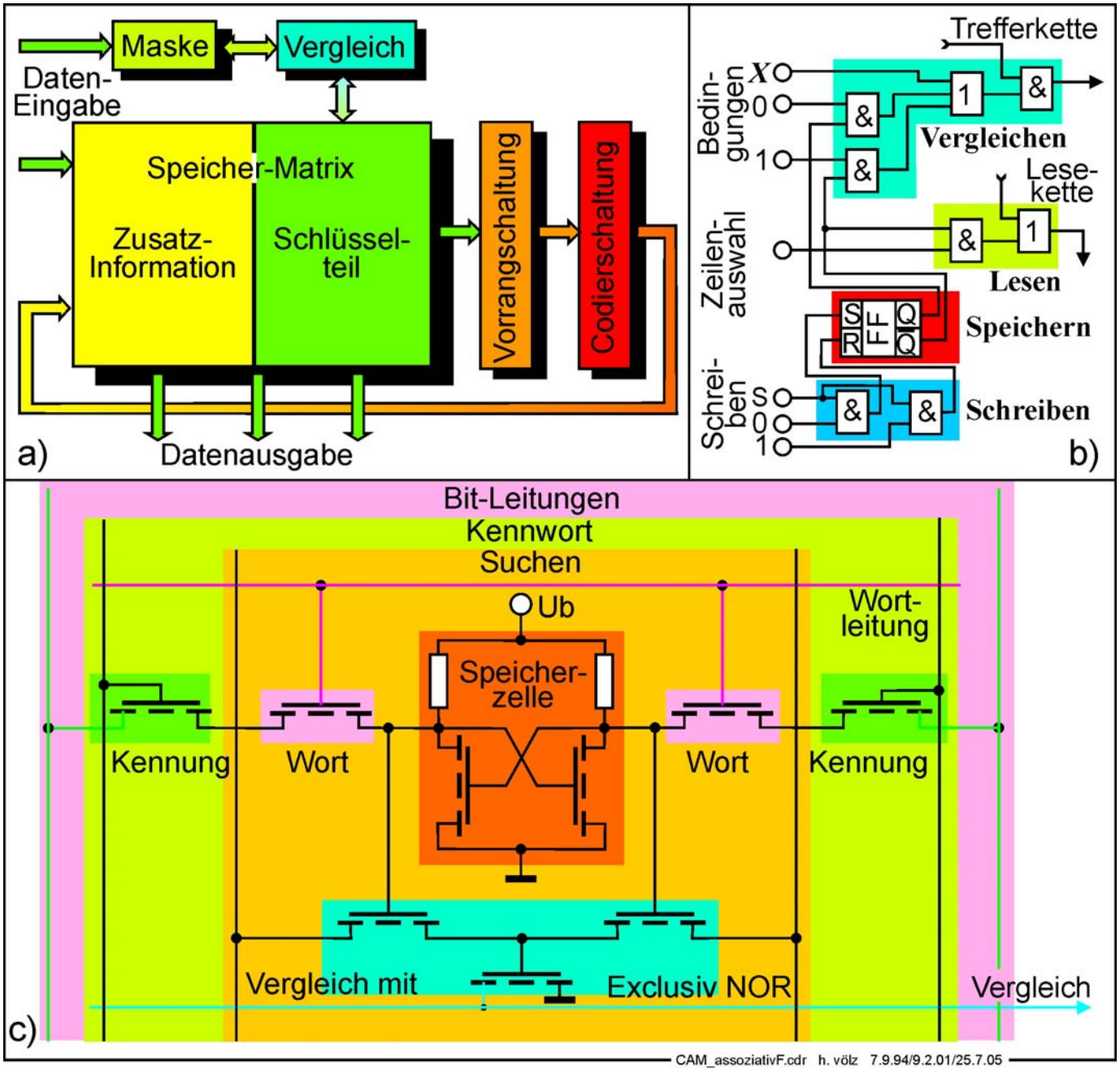
= **CAM** (**c**ontent **a**ddressed **m**emory), Lateinisch ad- hin, zu und socius Gefährte

Mathematik: assoziatives Gesetz: a+b+c = (a+b)+c = a+(b+c) bzw. a*b*c = (a*b)*c = a*(b*c).

Große Vorteile für Datenbanksuche. Beispiel: Tabellenausschnitt für Partnersuche

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	

Gesucht werden: ***unverheiratete, männliche*** Personen im Alter von ***25 bis 35 Jahren*** mit dem ***Hobby Foto***
Hierzu dient die **Maske**. Durch die ausgewählten Spalten (gelb) festgelegt folgt * als möglich
Die Spalten ***Kinderzahl*** und ***Namen*** sind unwichtig = Vermerk „don't care" „×"
englisch nicht drum kümmern, Sie werden bei Suche ausgeblendet.
das Ausscheiden erfolgt durch Abweichungen **blau**
Entscheidung erfolgt für alle Zeilen gleichzeitig, also ***voll parallel in einem Takt***
Anschließend werden nur die markierten Zeilen in einer festgelegten Rangfolge angezeigt
Das entsprechende Schaltprinzip zeigt das folgende Bild.
Leider sind für jedes Speicher-Bit 10 Transistoren erforderlich.


Maske
Vergleich
Daten-
Eingabe
Speicher-Matrix
Zusatz-
Information
Schlüssel-
teil
Vorrangschaltung
Codierschaltung
a)
Datenausgabe
Trefferkette
Bedin-
gungen
X
0
1
&
1
Vergleichen
Lese-
kette
Zeilen-
auswahl
Lesen
S
R
FF
Q
Speichern
Schrei-
ben
Schreiben
b)
Bit-Leitungen
Kennwort
Suchen
Ub
Wort-
leitung
Speicher-
zelle
Kennung
Wort
Wort
Kennung
Vergleich mit
Exclusiv NOR
Vergleich
c)
CAM_assoziativF.cdr h. völz 7.9.94/9.2.01/25.7.05

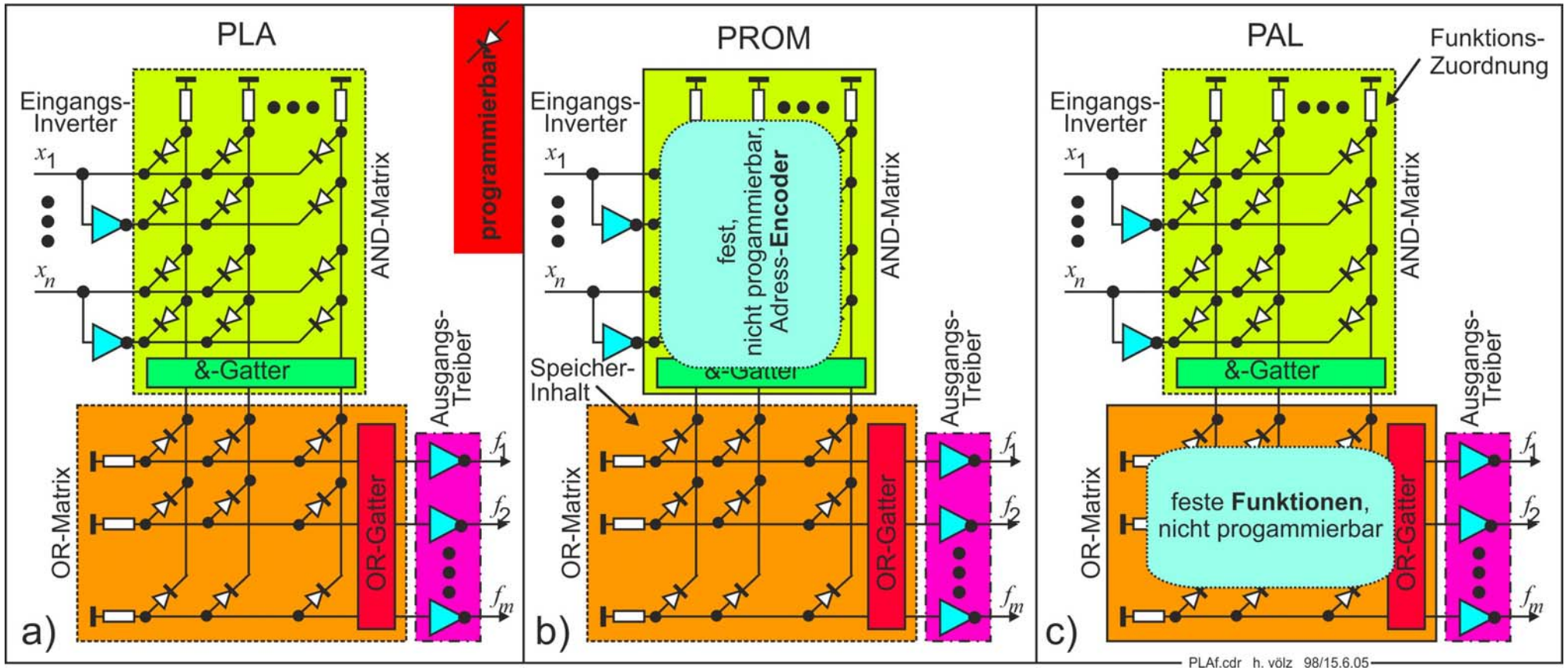
Programmierbare Funktionen

Es gibt hierbei drei Varianten, die alle als PLD (**p**rogrammable **l**ogic **d**evice) bezeichnet werden
Sie leiten sich allgemein aus einer Reihenschaltung von NAND und NOR ab.
Es werden dabei *n* Eingangssignale und *m* Ausgangssignale benutzt.
Bei der üblichen (Masken-) Programmierung werden die Dioden eingefügt oder weggelassen.

Bei Bild a) liegt ein ***PLA*** (**p**rogrammable **l**ogic **a**rray) vor. Es sind *n* verschiene Funktionen wählbar

Aus dem PLA entsteht ein ***PROM***, wenn die AND-Matrix als Adress-Encoder festgelegt wird b).
Je nach der Kombination der *n* Eingänge wird ein programmiertes (gespeichertes) Signal der Wortbreite *m* ausgegeben. Für Redundanzfreiheit (Vollständigkeit) muss dabei $m = 2^n$ gelten.

Das dritte Extrem ist ein ***PAL*** (**p**rogrammable **a**rray **l**ogic) c).
Hier stehen die verfügbaren Ausgangssignale fest, sie werden mittels programmierbarer Eingangssignale ausgegeben

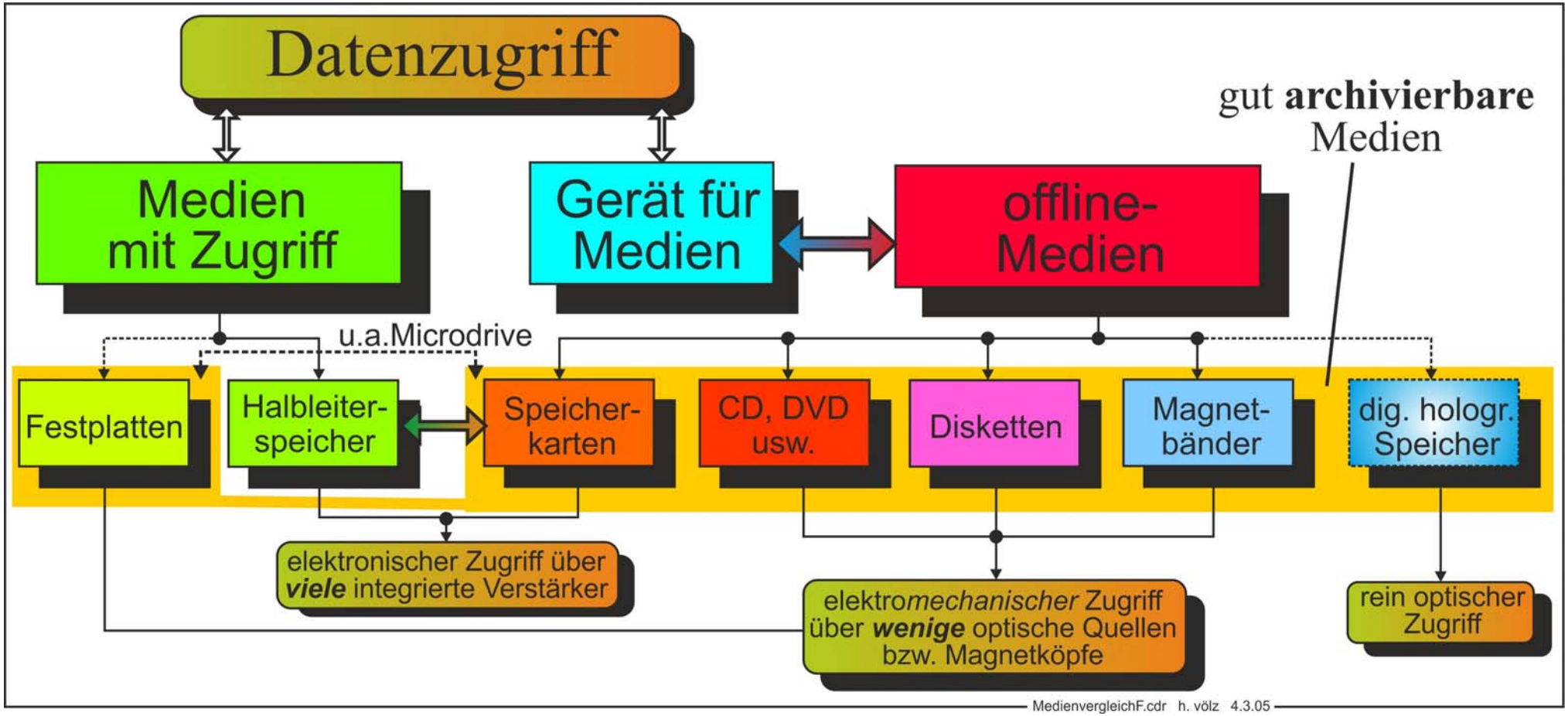

PLA
programmierbar
Eingangs-
Inverter
x_1
x_n
AND-Matrix
&-Gatter
Ausgangs-
Treiber
OR-Matrix
OR-Gatter
f_1
f_2
f_m
a)
PROM
fest,
nicht progammierbar,
Adress-**Encoder**
Speicher-
Inhalt
b)
PAL
Funktions-
Zuordnung
feste **Funktionen**,
nicht progammierbar
c)
PLAf.cdr h. völz 98/15.6.05

Medien-Arten

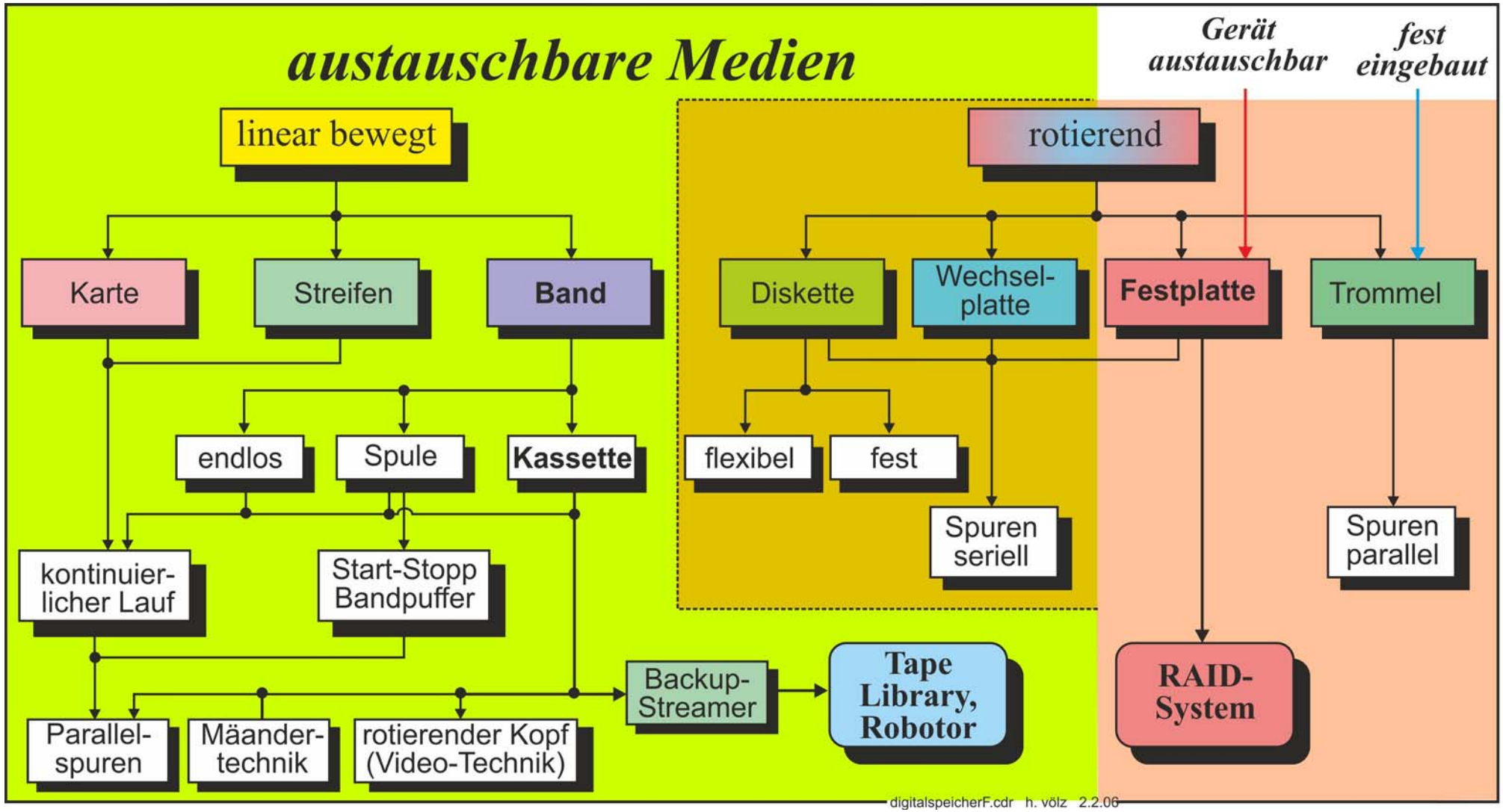
Die wichtigsten Arbeitspeicher beruhen auf heute ***Halbleiterbasis***. Das gilt für alle RAM, SD-Karten (scure digital memory card) usw. Die größeren Kapazitäten reichen von den USB-Sticks bis zu den SSD (solid state drive).
Darüber hinaus haben nur noch ***magnetische Speicher***, wie die Festplatten und für extrem große Kapazitäten die Magnetbänder (Band-Bibliotheken) Bedeutung. Die Optischen Speicher, wie CD, DVD usw. werden sich wohl nur noch wenige Jahre am Markt halten.
Insbesondere sind bezüglich der Betriebsweise und Speicherdichte zusätzlich zwei Varianten zu unterscheiden

Online-Medien	**Offline-Medien**
• werden direkt, ***ohne zusätzliche Geräte*** betrieben, z. B. Halbleiterspeicher und Festsplatten • besitzen meist schnellen Zugriff • verlangen größeres Volumen/Bit	• benötigen ein Gerät zum Speichern, Wiedergeben, z. B. Disketten, CD, DVD, Magnetbänder • nutzen das Volumen besser aus, daher wichtig zur Archivierung, Durch Trennung auch gut für den Datenschutz (wegschließen!) • haben längere Zugriffszeiten, zumindest bezüglich auswechseln • Gefahr für moralischen Verschleiß der Geräte • vergrößern gewaltig die Speicherkapazität (Datenbanken)

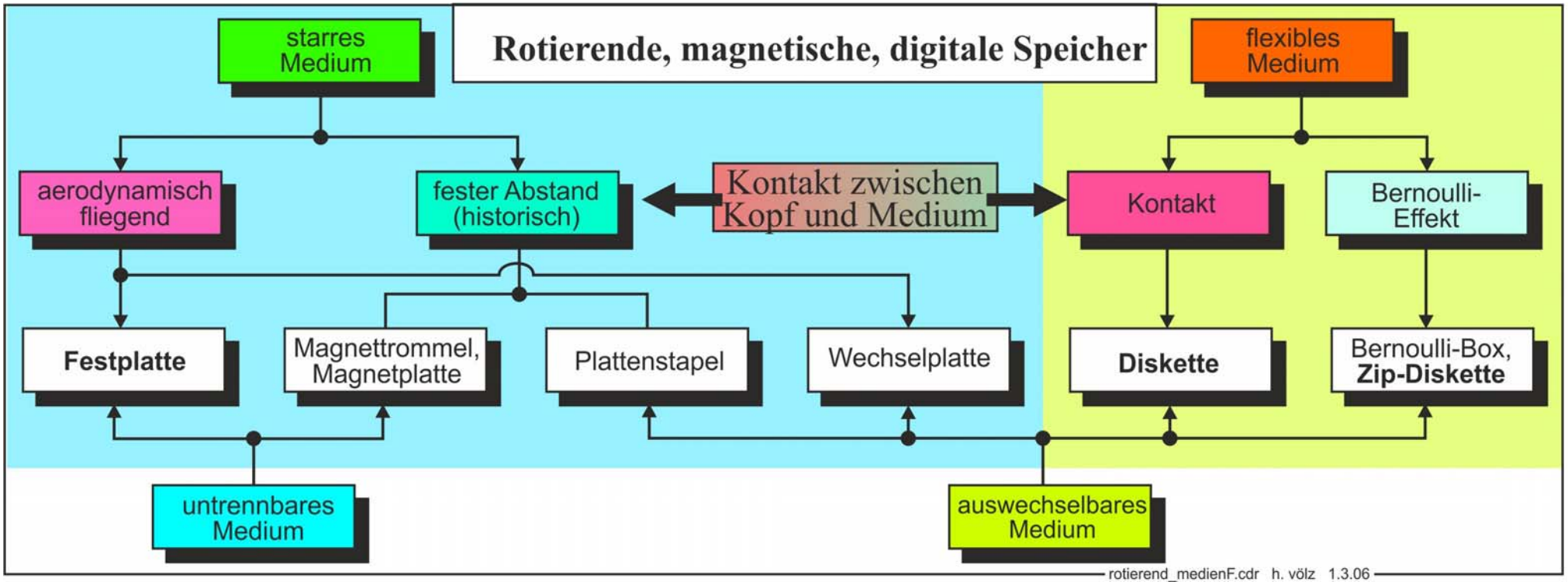
Etwa seit dem Beginn der Speichertechnik führen vor allem die magnetische Verfahren zu Offline-Medien
Das begann bereits 1900 durch POULSEN mit dem Magnetdraht, ab 1925 mit dem Magnetband.
Für die digitale Technik folgten neben dem Magnetband, die Diskette und Magnetkarte.
Erst ab etwa 1980 kamen optische Verfahren, wie die CD-ROM usw. hinzu.
Eine sehr spezielle Art ist der holografische Speicher.


Datenzugriff
Medien mit Zugriff
Gerät für Medien
offline-Medien
gut archivierbare Medien
u.a.Microdrive
Festplatten
Halbleiter-speicher
Speicher-karten
CD, DVD usw.
Disketten
Magnet-bänder
dig. hologr. Speicher
elektronischer Zugriff über viele integrierte Verstärker
elektromechanischer Zugriff über wenige optische Quellen bzw. Magnetköpfe
rein optischer Zugriff
MedienvergleichF.cdr h. völz 4.3.05

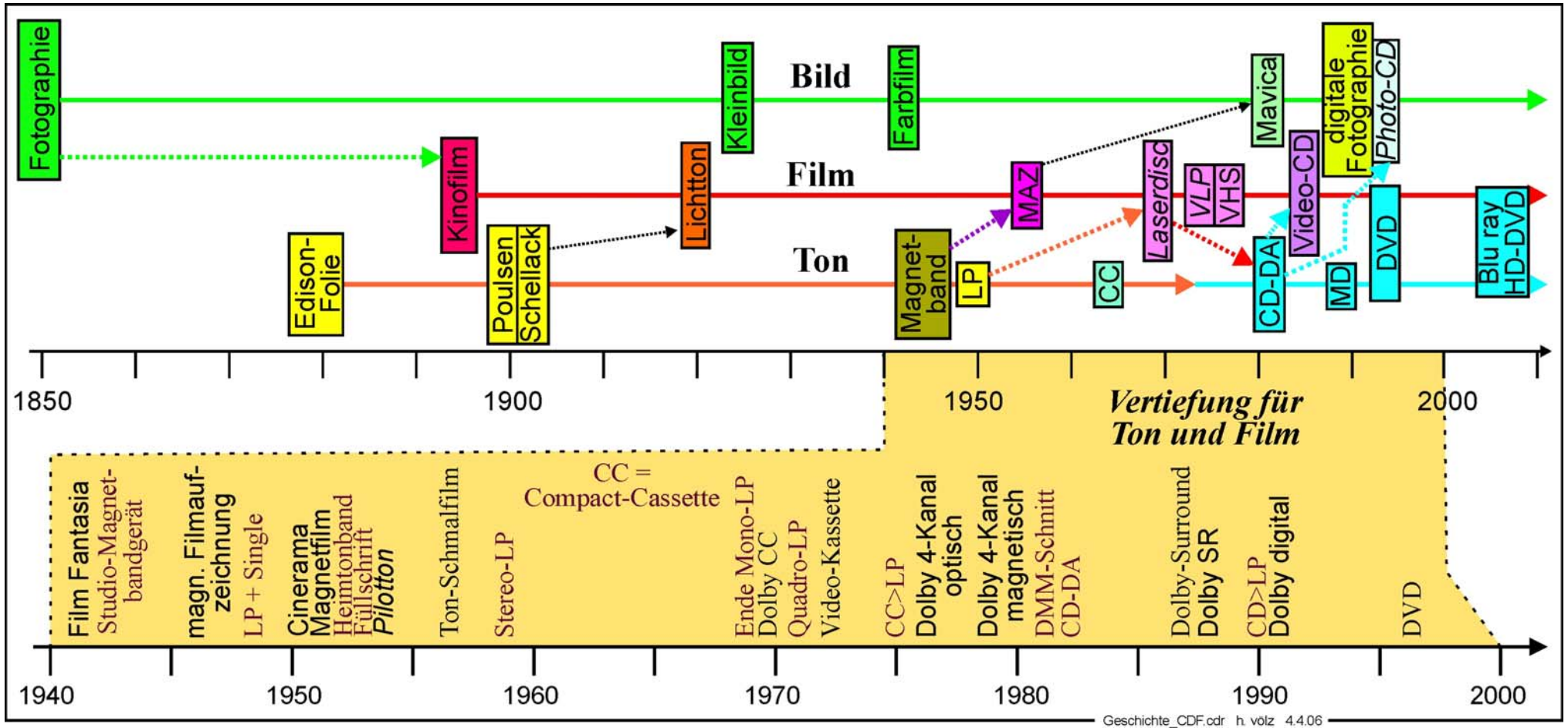
Die wichtigsten austauschbaren magnetischen Speicher



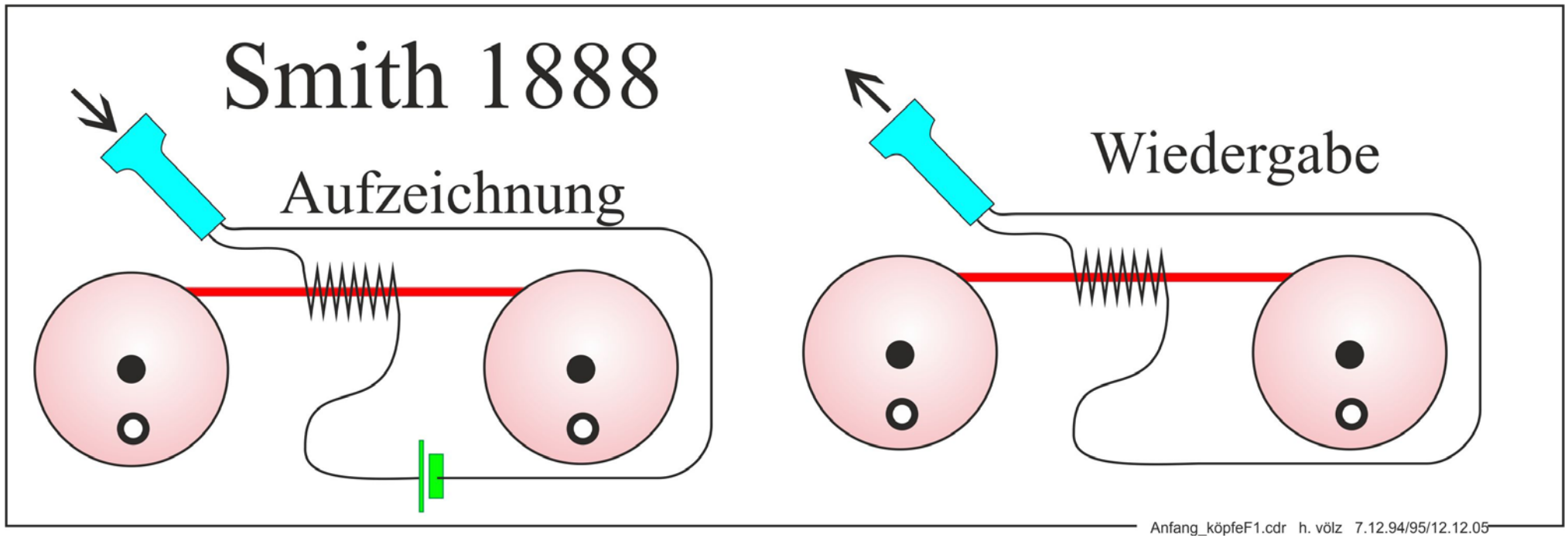
Die Varianten der magnetischen rotierenden Speicher



Auf die älteren sowie kontinuierlichen Speicher wird hier wegen ihrer geringeren aktuellen Bedeutung verzichtet.
Es wären dafür vor allen die „klassischen“ ***Fotografien, Filme, Schallplatten*** und ***Videobänder*** zu nennen.
Für sie folgt nur der geschichtliche Ablauf im nächsten Bild. Sehr viele Details enthalten [4], [6] und [7].
Auch die ***CD, DVD*** und ***bluedisc*** werden nicht weiter genannt. Sie sind heute schon faktisch so gut wie überlebt
Lediglich zum Anfang der ***magnetischen Audiospeicherung*** werden im Folgenden wenige Beispiele gebracht.

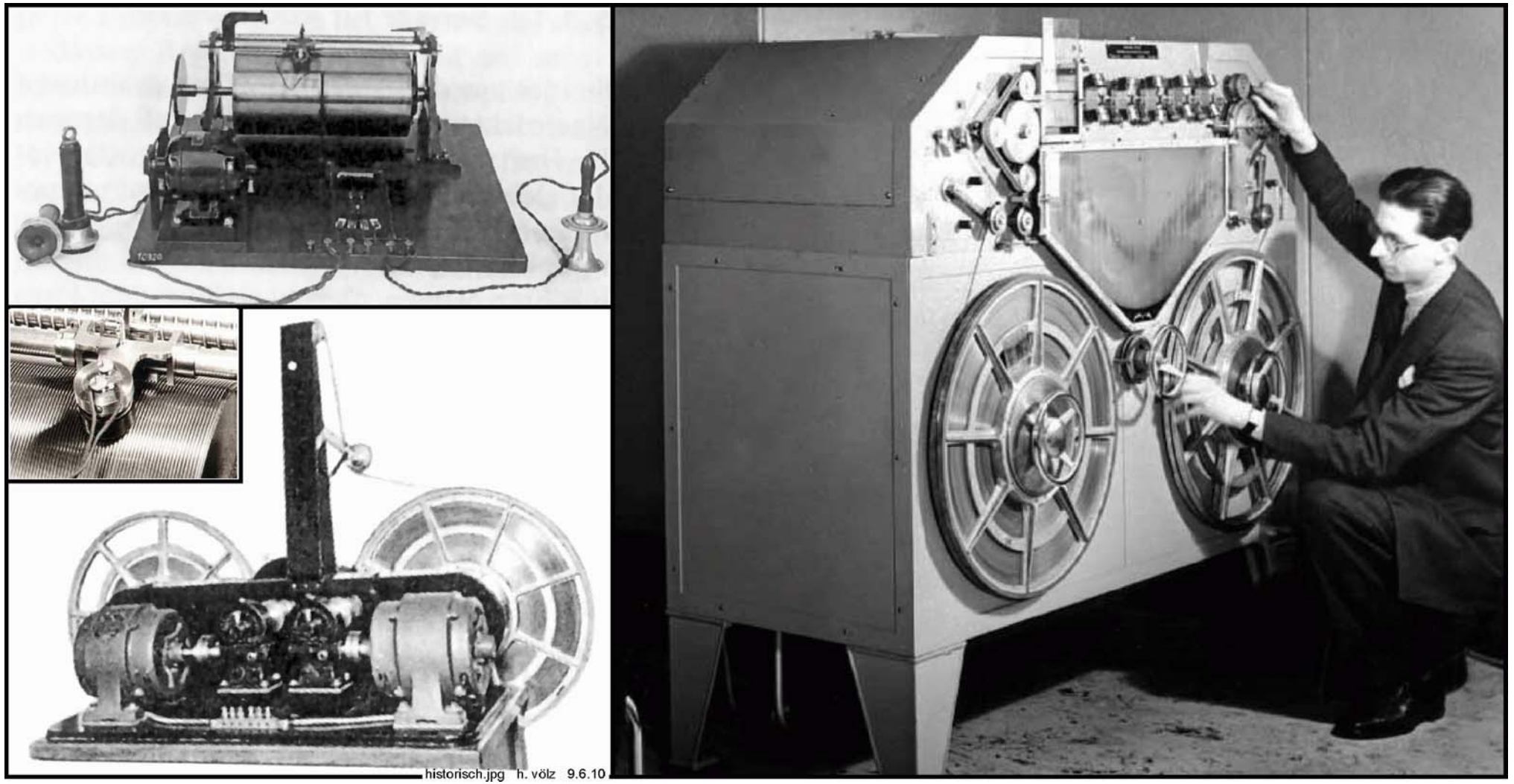

Fotographie
Kleinbild
Farbfilm
Mavica
digitale Fotographie
Photo-CD
Bild
Kinofilm
Lichtton
MAZ
Laserdisc
VLP
VHS
Video-CD
Film
Edison-Folie
Poulsen
Schellack
Magnet-band
LP
CC
CD-DA
MD
DVD
Blu ray HD-DVD
Ton
1850
1900
1950
2000
Vertiefung für Ton und Film
Film Fantasia
Studio-Magnet-bandgerät
magn. Filmauf-zeichnung
LP + Single
Cinerama
Magnetfilm
Heimtonband
Füllschrift
Pilotton
Ton-Schmalfilm
Stereo-LP
CC = Compact-Cassette
Ende Mono-LP
Dolby CC
Quadro-LP
Video-Kassette
CC>LP
Dolby 4-Kanal optisch
Dolby 4-Kanal magnetisch
DMM-Schnitt
CD-DA
Dolby-Surround
Dolby SR
CD>LP
Dolby digital
DVD
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
Geschichte_CDF.cdr h. völz 4.4.06

Idee der magnetischen Schallaufzeichnung



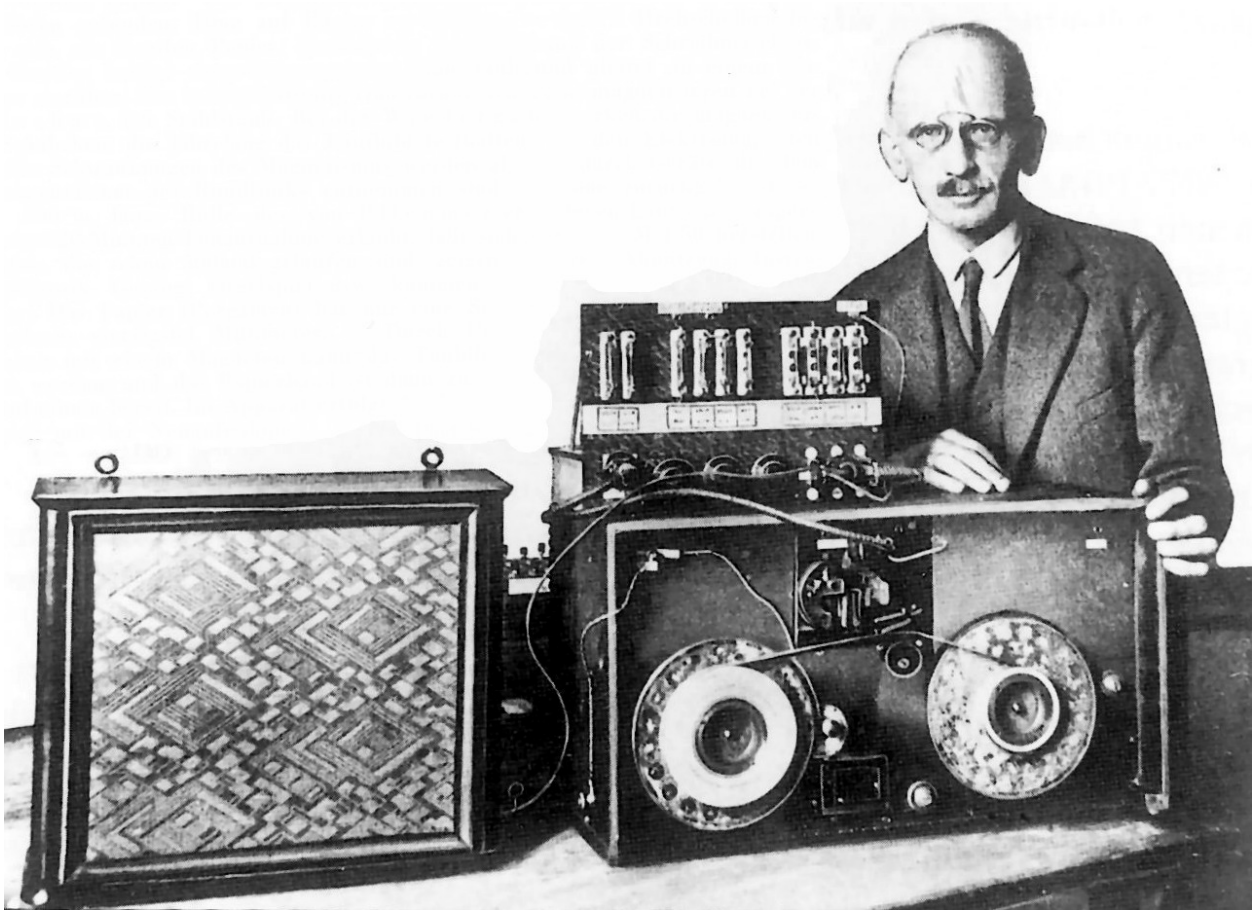
Diese Idee von Smith wurde nie versucht oder erprobt. Sie dürfte auch kaum zu brauchbaren Ergebnissen führen.

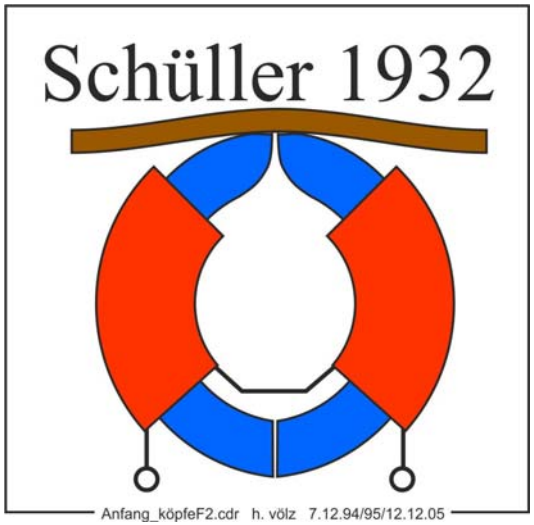
Erste magnetische Speicher

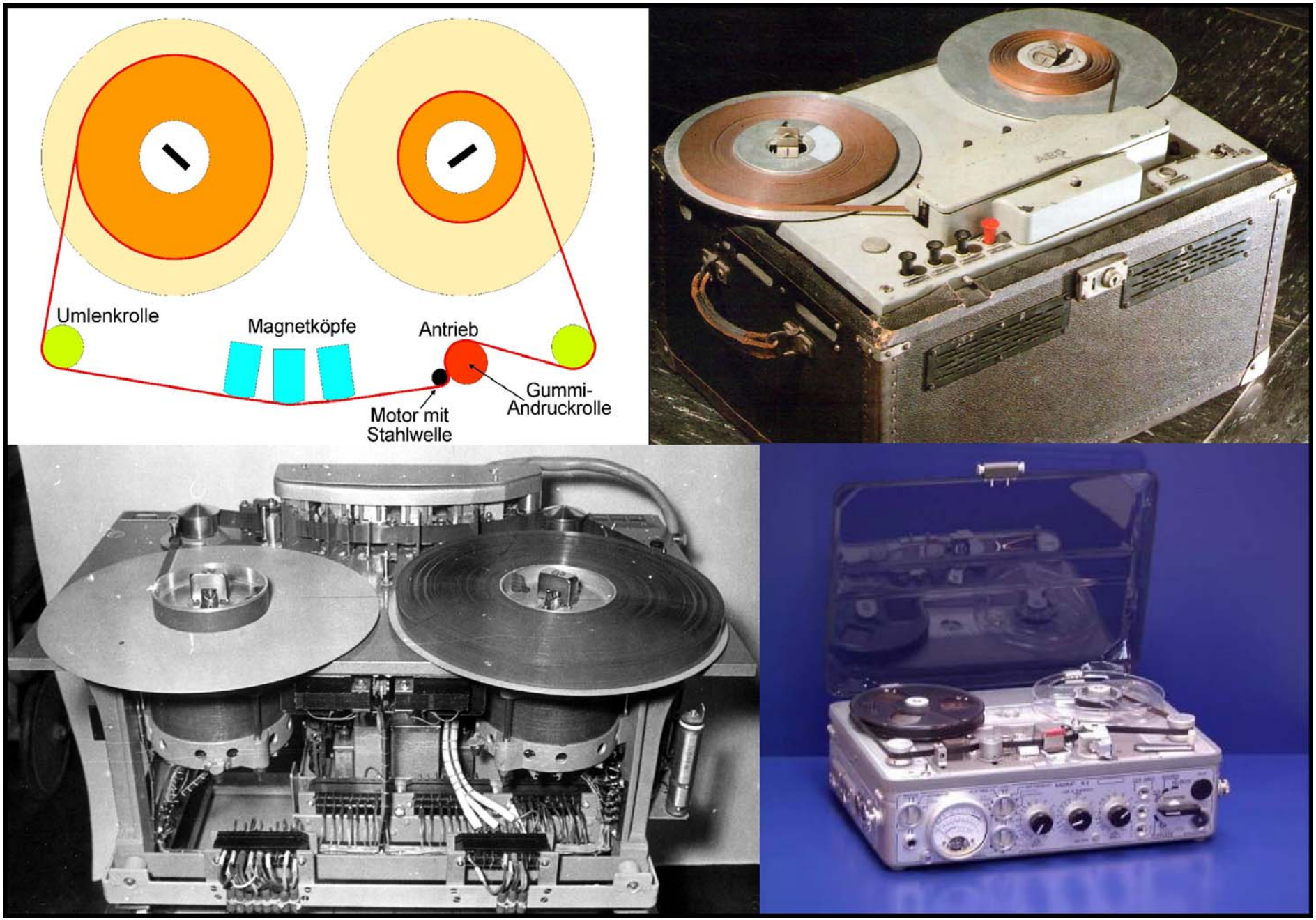


Die entscheidenden ersten Ideen

Vor allem drei Erfindungen bestimmen die moderne Magnetbandtechnik zur ***Studiotechnik***:
1928 Das Magnetband von ***Pfleumer*** (1897 - 1945) Siehe Bild
1932 Der Ringmagnetkopf von ***Schüller*** (1904 - 1976) Es wurde 1935 bei AEG und Telefunken von
1936 Das Dreimotoren-Laufwerk von AEG-Telefunken vom Entwickler ***Theo Volk*** *≈1890 [8].

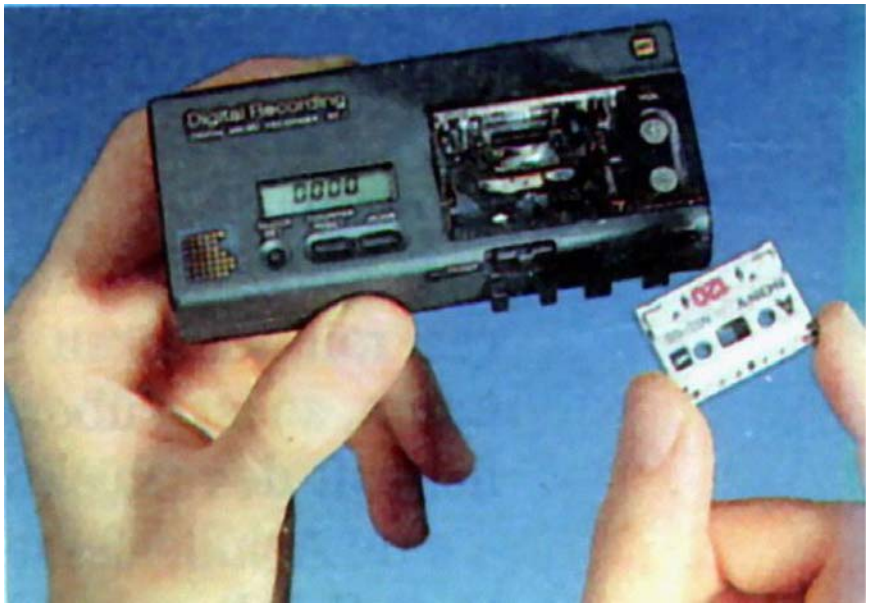




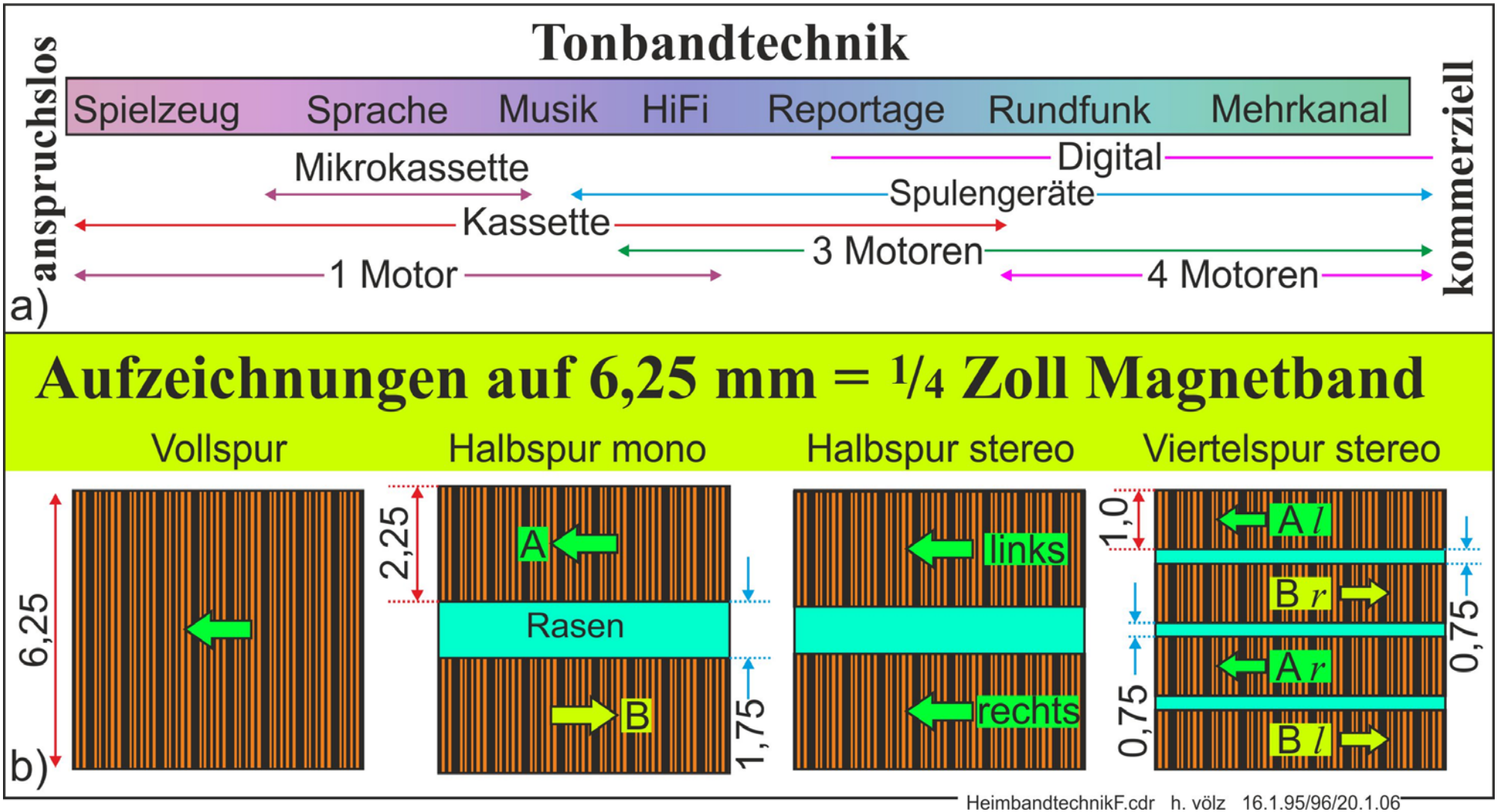

Umlenkrolle
Magnetköpfe
Antrieb
Gummi-
Andruckrolle
Motor mit
Stahlwelle

Heimtontechnik

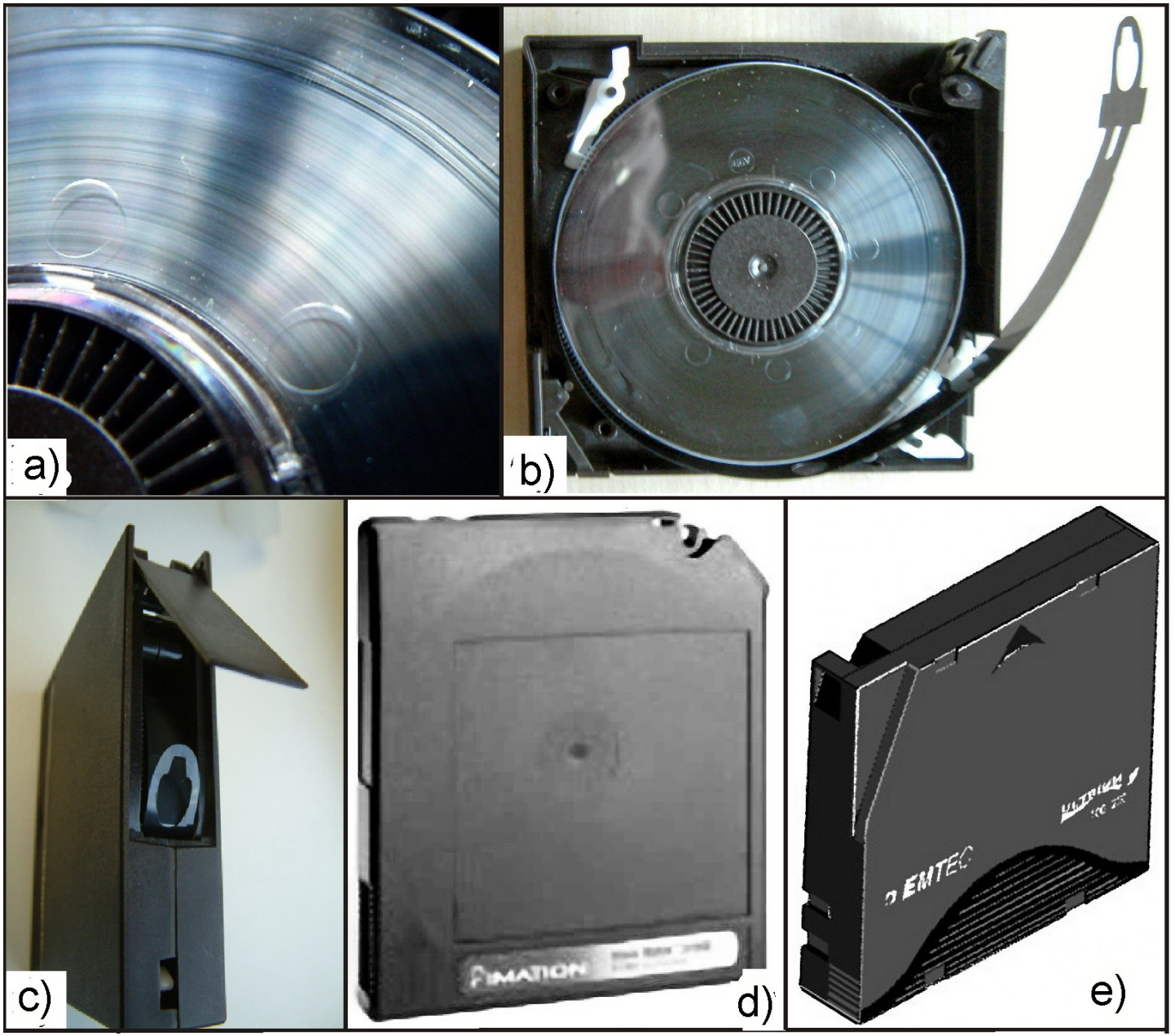
Nach der Studiotechnik entstand z.T. erheblich vereinfacht eine Heimtontechnik.
Nach der „klassischen“ Spulentechnik entstanden auch kleine transportable Geräte.
Dies begann 1977 mit dem ***Walkman*** von Sony (links unten) und führte auch zu Mikrogeräte der ***Diktiertechnik***
Ein Beispiel hierzu zeigt das Bild unten rechts: Ein Gerät mit Mikrokassette.



Varianten der Audiobandtechnik

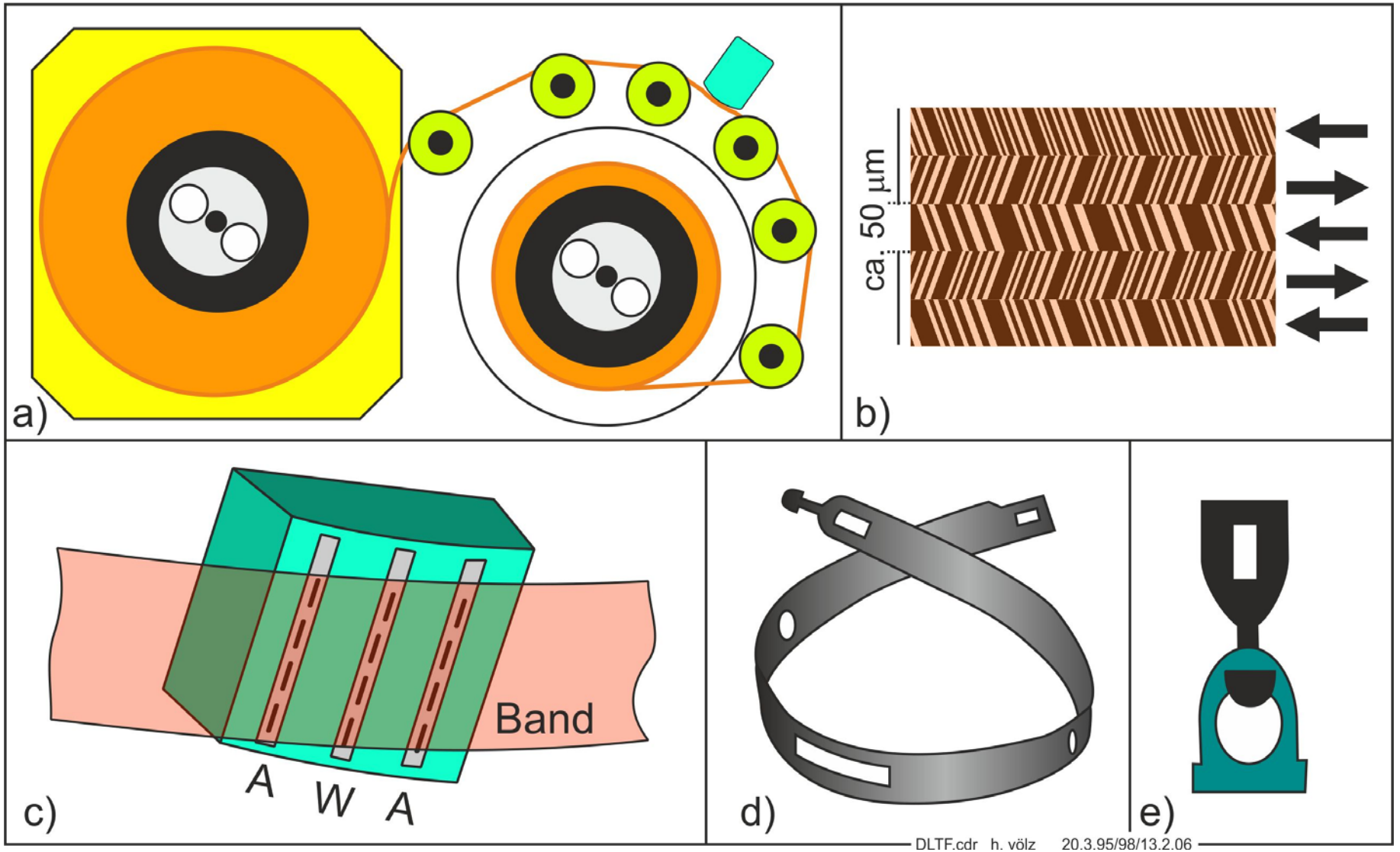


Digitale Bandtechnik



Die digitale Bandspeicherung für die Rechentechnik hat viele Varianten durchlaufen.
Von den mannshohen Spulenlaufwerken mit Ausgleichshebeln über rotierende Kopftechniken ähnlich den alten Videospeichern bis zu den aktuellen DLT-Varianten. (**D**EC **l**inear **t**ape). Das spezielle ½-Zoll-Band (8 µm dick)befindet sich einer Spule in einem staubdichten Kunststoffgehäuse von $101{,}6 \times 101{,}6 \times 25{,}4\,\mathrm{mm}^3$. Es wird mit einer „Schlaufe“ aus der Kassette ins Laufwerk gezogen. Seit 2005 (DLT-S4) werden 448 Spuren benutzt. Die Kapazität beträgt 800 GByte, die Datenrate 120 MByte/s. Sehr ähnlich ist der firmenoffene Standard LTO (**l**inear **t**ape **o**pen)

Im Betrieb wird das Band ins Laufwerk gezogen, über mehrere Rollen am Kopf vorbei gezogen und aufgewickelt. Die Magnetschicht wird dabei nur vom Kopf berührt. Nach Benutzung wird es zurückgespult a). Der Kopf ist leicht schräg gestellt c). Dadurch ist eine „rasenfreie“ Aufzeichnung möglich (b). d) und e) zeigen das Hilfsband und den Mechanismus für die Bandankopplung zum Laufwerk.



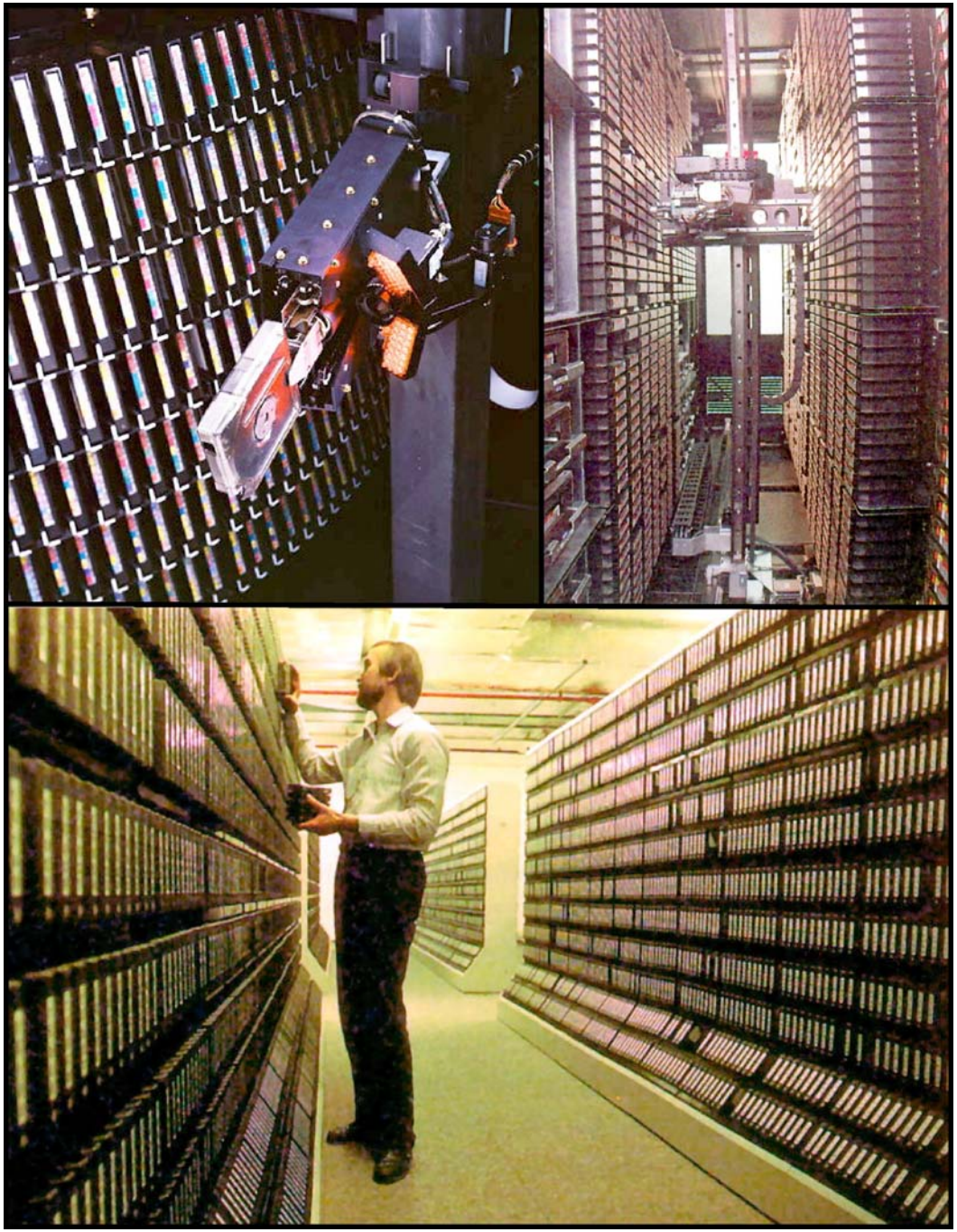
Die Bandbibliothek

Tape library

Häufig werden sehr viele Digital-Kassetten in Band-Bibliothek gelagert. Außerdem werden sie vielfach über eine Automatik (Rooter) dem Laufwerk zugeführt. Diese Technik dürfte noch lange lange bestehen bleiben.

Sie ermöglicht nämlich eine nahezu unerschöpfliche Speicherkapazität

Weshalb Bänder hierfür besonders geeignet sind wird später behandelt.



Rotierende Speicher

Die Speicher mit rotierendem Medium begannen mit dem ***Trommelspeicher***. Er besaß feste Köpfen für jede Spur.

13.9.**1956** erstmalig ***Plattenstapel*** (50 Platten, ∅=61 cm) für Rechner IBM 350
Diesen ***RAMAC*** (**r**andom **a**ccess **m**ethod of **a**ccounting and **c**ontrol) entwickelte REYNOLD B. JOHNSON in San Jose
Für jede magnetische Oberfläche wird nur ein beweglicher Kopf verwendet.
Je Plattenseite existieren 100 Spuren zu je 500 Zeichen. Die Flughöhe der Köpfe beträgt etwa 30 µm
So wurden *Volumen* und *Preis* je Bit erheblich verringert.
Jedoch zwei Nachteile:

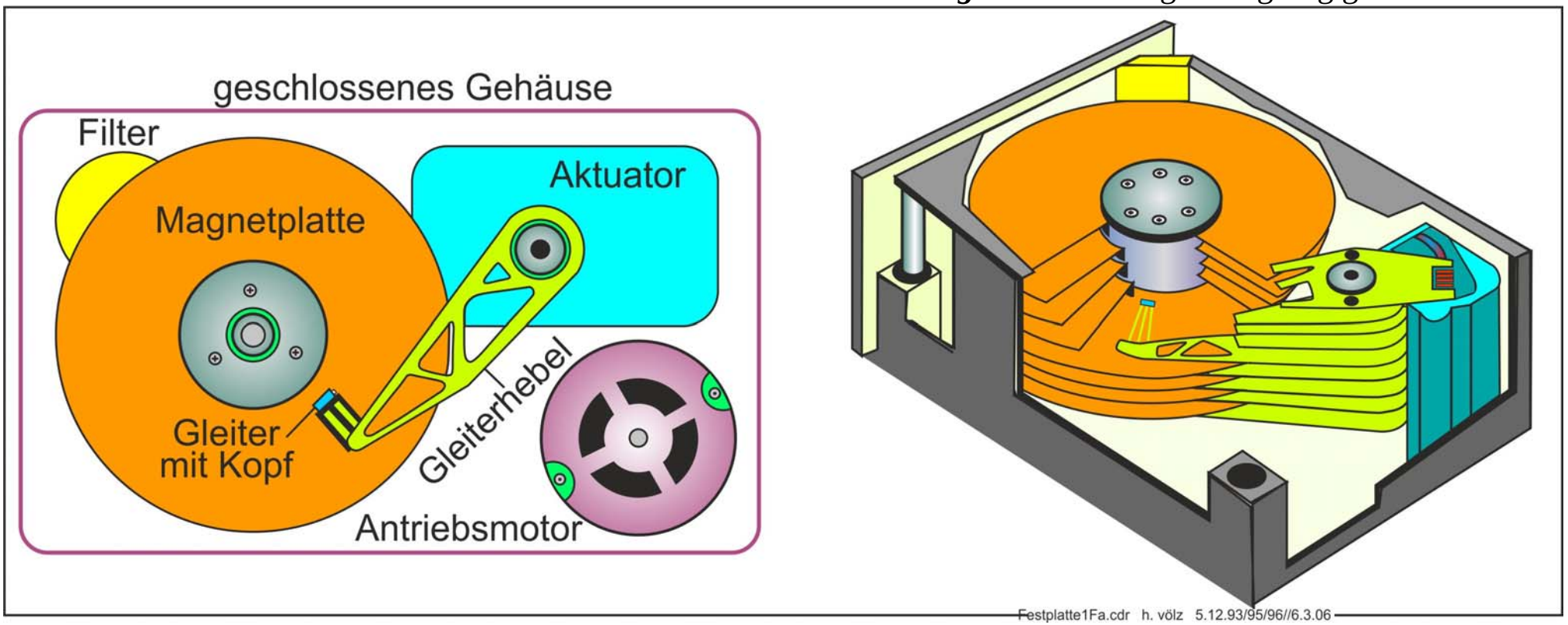
- ***Gemeinsame Positionierung*** aller Köpfe durch ***zweitem Antrieb*** (Aktuator).
- Bewegung der Köpfe ***verlängert die Zugriffszeit*** zur gewünschten Spur (Zylinder genannt).

1961 IBM 1311 erhält **Wechselplattenspeicher,** erstmals mit einem Gleiter
1970 ***Disketten***technik mit flexiblen „Scheiben“ (Floppy) (heute keine Variante mehr benutzt).
1973 IBM führt die ***Festplatte*** als ***Winchester*** ein:
Staubdicht abgeschlossenes Gehäuse ⇒ Kopfbeschädigungen werden extrem selten
Ständige Verkleinerung (s. u.), Verringerung der Flughöhe, Übergang zu integrierten Köpfen (magnetoresistiv)

Daneben entstanden noch ***einige Sondervarianten*** mit geringer Bedeutung,
wie SyQuest-Wechselplatten, Bernoulli Boxen, Floptical usw..

Festplatten

Das Bild zeigt den typischen Aufbau.
Im linken Bild ist der ***Antriebsmotor*** noch entfernt vom Stapel gelagert.
Durch einen speziellen Aufbau wir er später in das Innere des Platenstapels verlagert.
Dazu muss er so aufgebaut werden, dass sein ***Streufeld*** die Magnetschichten des Stapels nicht beeinflusst.
Das ist bereits im rechten Bild geschehen. Ähnliches ist mit dem ***Aktuator*** geschehen.
Zeitweilig wurde ein ***Linerantrieb*** für den Magnetkopf versucht (bessere Spuren mit genau senkrechter Spaltlage)
Doch hierdurch sank die sichere Betriebsdauer. So ist der ***rotationsmäßige Aktuator*** allgemeingültig geworden.



Fotos von Festplatten

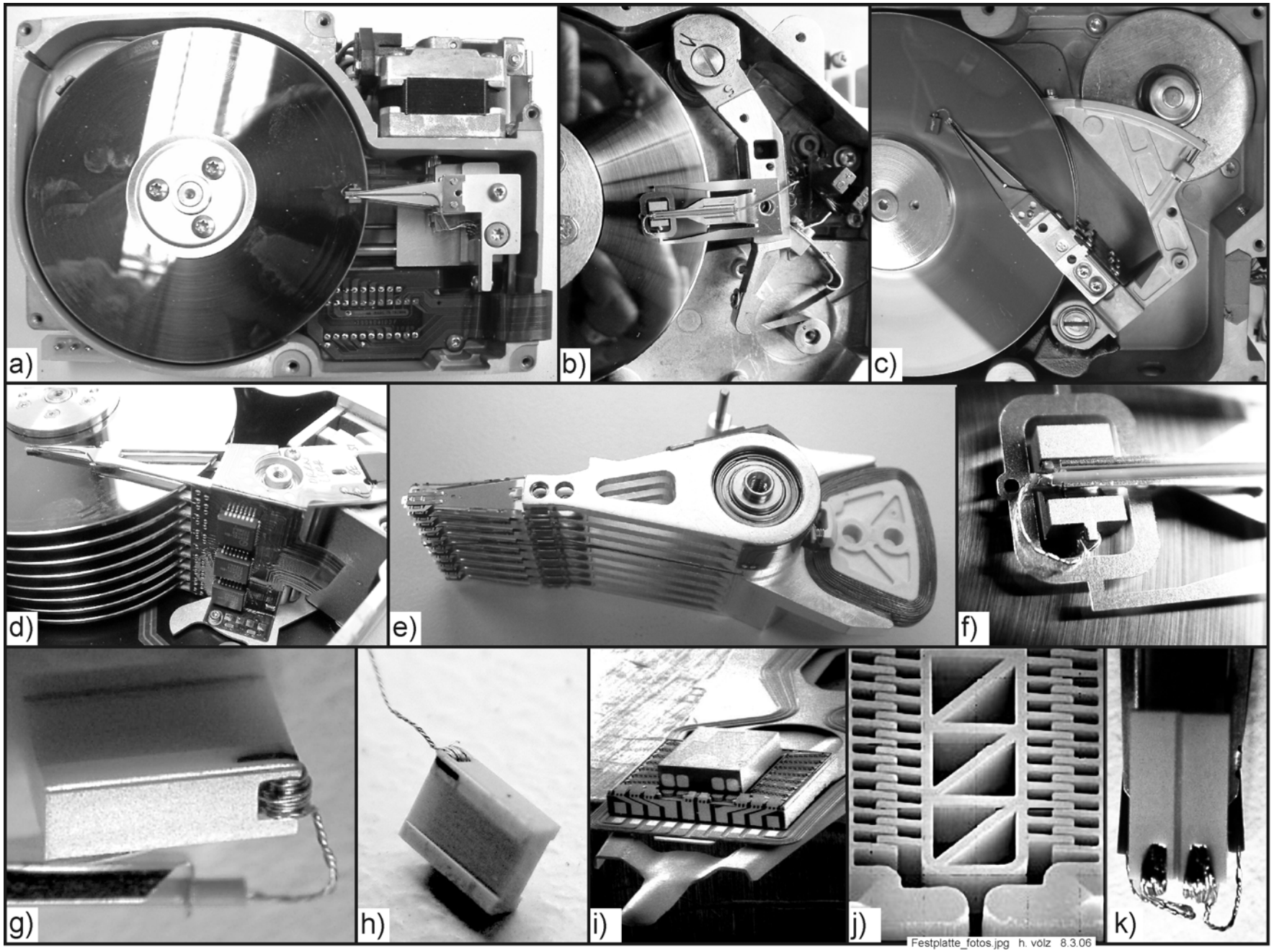
a) ***geöffnet***, gesamter Draufblick

b) – e) ***Hebelarme*** und -arten der ***Kopfbewegung*** hervor gehoben. vgl. a) Parallführung

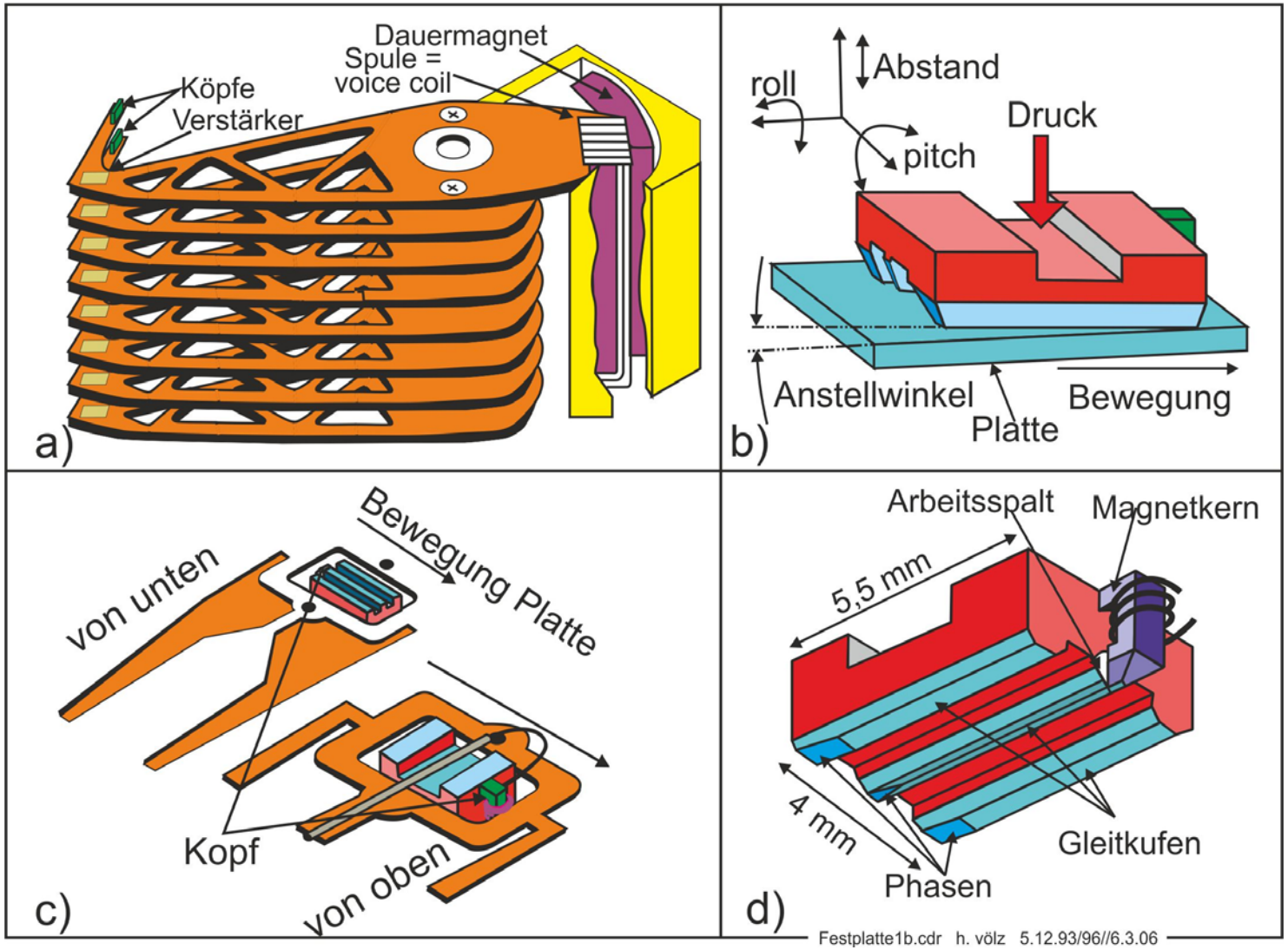
f) ***Gleiter*** unten Kopf

g), h) und k) zeigen ***Kopf betont***

i), j) aktiver Mikroaktuator für Kopfabstand-Regelung.



Zum Gleiter

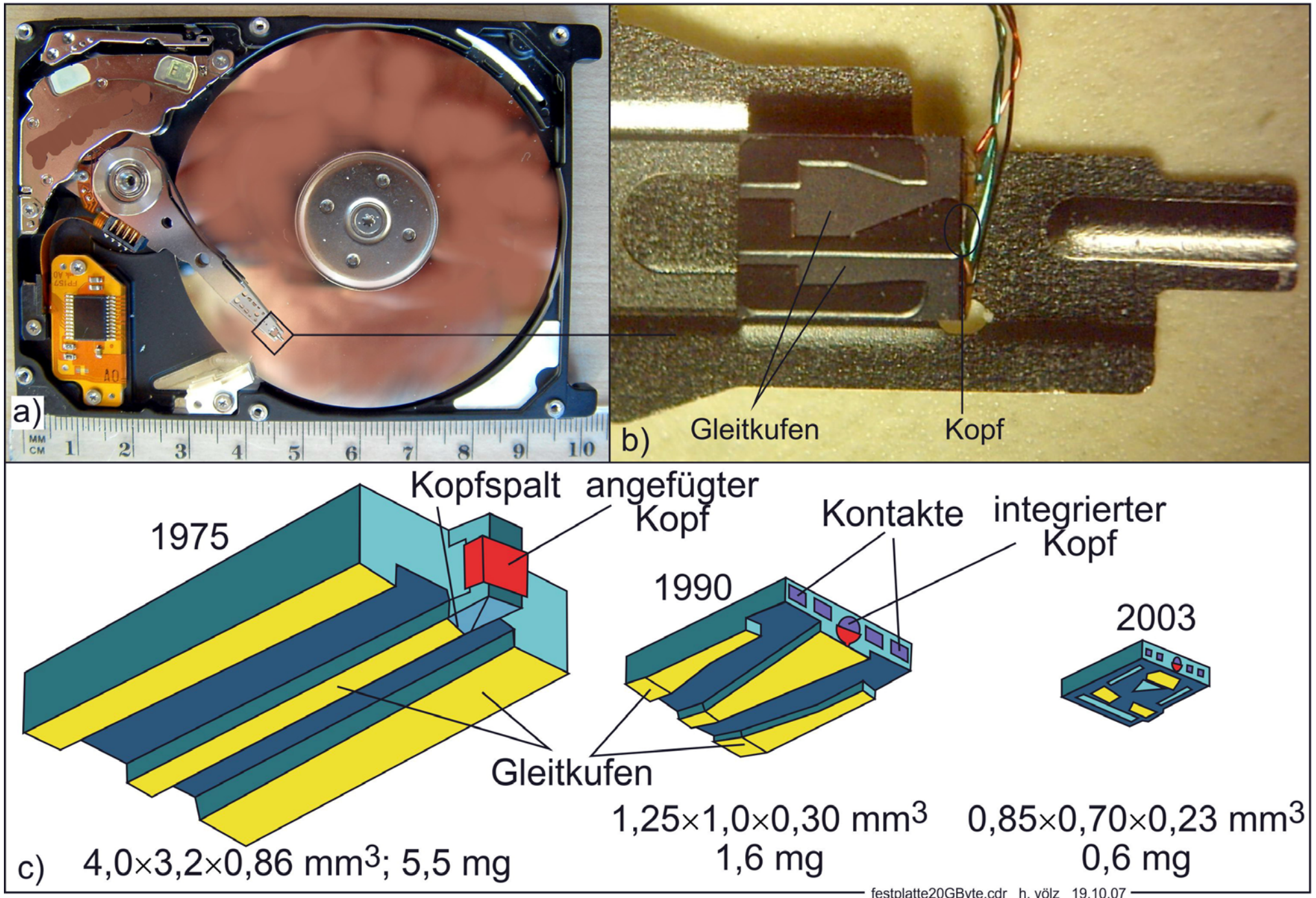


An Ende der Hebel für die Spursteuerung (a) befinden sich der Kopfverstärker und ein Gleiter aus MnFe-Ferrit mit dem Magnetkopf.
Vor allem ist er für den richtigen Abstand des Kopfspaltes gegenüber der rotierenden Magnetschicht bewirkt.
Hierzu besitzt der Gleiter 3 Gleitkuven (b bis d) hellblau) mit schrägen Phasen am „Anfang“.
Durch sie hebt der mitbewegte Luftstrom vorne den Kopf an. Es entsteht der Anstellwinkel. Am Ende der mittleren Kufe ist der Magnetkern des Kopfes angesetzt (b lila)
Für der „richtigen“ Kopfabstand (nur wenige nm) muss der Gleiter in der Mitte angedrückt werden. Bei einem Spurwechsel muss er zusätzlich „roll“ und „pitsch“ ausgleichen. Hierzu ist er kardanisch federnd mit den Aktuator-Hebeln verbunden (c).

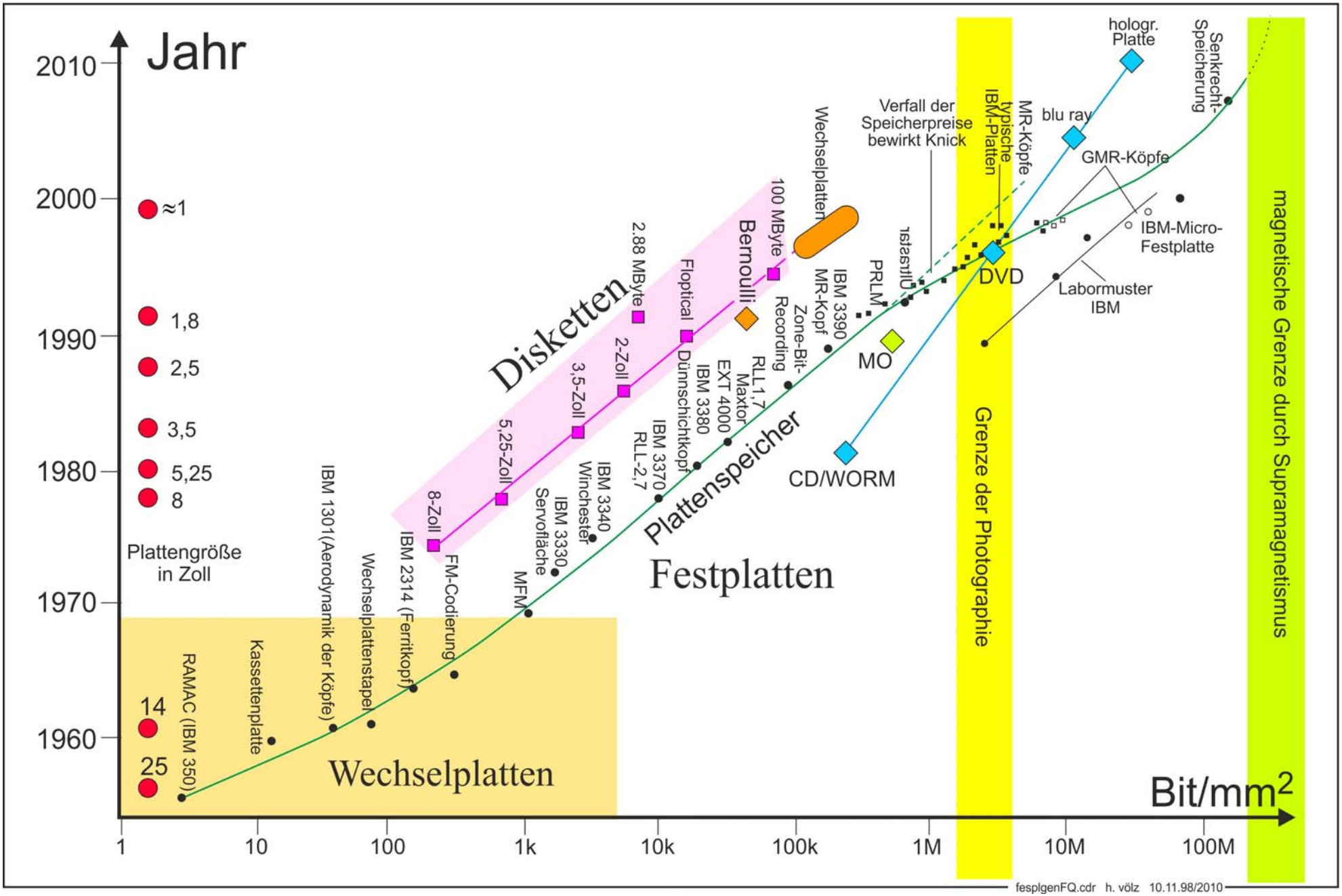
Fortschreitende Entwicklung

Das vorige Bild zeigt im Wesentlichen der Stand der Festplattentechnik um 1975. Seitdem viele Verbesserungen.
Dabei wurde alles immer kleiner und gleichzeitig stiegen Speicherdichte und Kapazität an. (folgendes Bild)
1987 entstanden erste ***Gleitkörper mit 2 Kufen***, an deren Ende sich je ein Kopf befand
Das Gleitermaterial ist ab dieser Zeit TiC/Al. Gleichzeitig wurden ***integrierte (induktive) Köpfe*** eingesetzt.
Auf einem 4-Zoll-Wafer entstanden dabei gleichzeitig mehrere tausend Köpfe, extra Flächen zu Kontaktierung.
1992 wird von IBM zur Wiedergabe ein ***magnetoresistives*** Element eingesetzt (***geschwindigkeits*****un*****abhängig)***
Ab ***1990*** sind die ***Gleiter*** so klein, dass ***keine Modell-Berechnungen*** mehr möglich sind.
Für die Aerodynamik wird die ***mittlere freien Weglänge von Luft*** (≈70 nm) unterschritten.
Lediglich Erfahrung und ***Experiment*** bestimmen von nun an die Gestalt des Gleiters.
Um ***1995*** erscheinen erste Gleiter mit ***3 erhöhten kleinen Flächen*** (Drei-Punkt-Auflage)
Ab ***1997*** kommt für die Wiedergabe der ***GMR***-Kopf zum Einsatz.
Ab ***2003*** gibt es erste erfolgreiche Versuche mit ***Senkrechtspeicherung***.
2006 stellt Hitachi eine dynamische Abstandsregelung des Magnetkopfes vor, (***Thermal Fly Height Control =*** TFC)
So wird etwa ***10 nm Platte-Kopfabstand*** erreicht. Später hat sich ein ***Micro-Aktuator*** durchgesetzt (Fotos i), j).
2013 Shingled Magnetic Recording: Kopfspalt schräg, kein Rasen
2017 ***Heat Assisted Magnetic Recording*** (HAMR) Laser-Erhitzung Spaltlänge verkürzen höhere Datensiherheit.

Ins makroskopisch übersetzt gilt als Vergleich: Ein Düsenjäger müsste mit reichlich 100facher Schallgeschwindigkeit im Abstand von nur etwa 50 µm über einer Betonpiste fliegen, ohne sie jemals zu berühren. Eine Boing 747 müsste mit 800facher Schallgeschwindigkeit über die Eroberfläche in weniger als 1 cm Abstand fliegen und dabei jeden Grashalm „erkennen“. Auf der Fläche von Deutschland dürften höchstens 12 nicht korrigierbare Fehler auftreten.

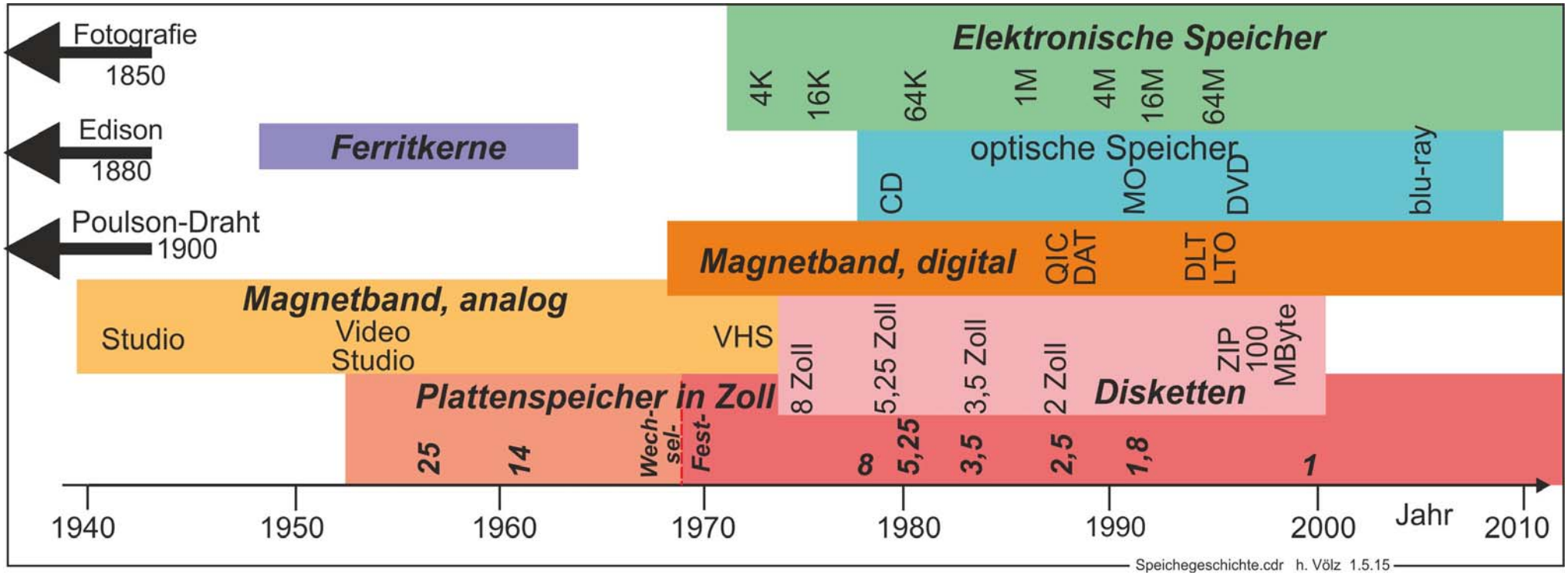


festplatte20GByte.cdr h. völz 19.10.07



Rasante und gewaltige ***Entwicklung*** der ***Festplatten***. Die ***offline-Disketten*** haben immer schlechtere Werte.

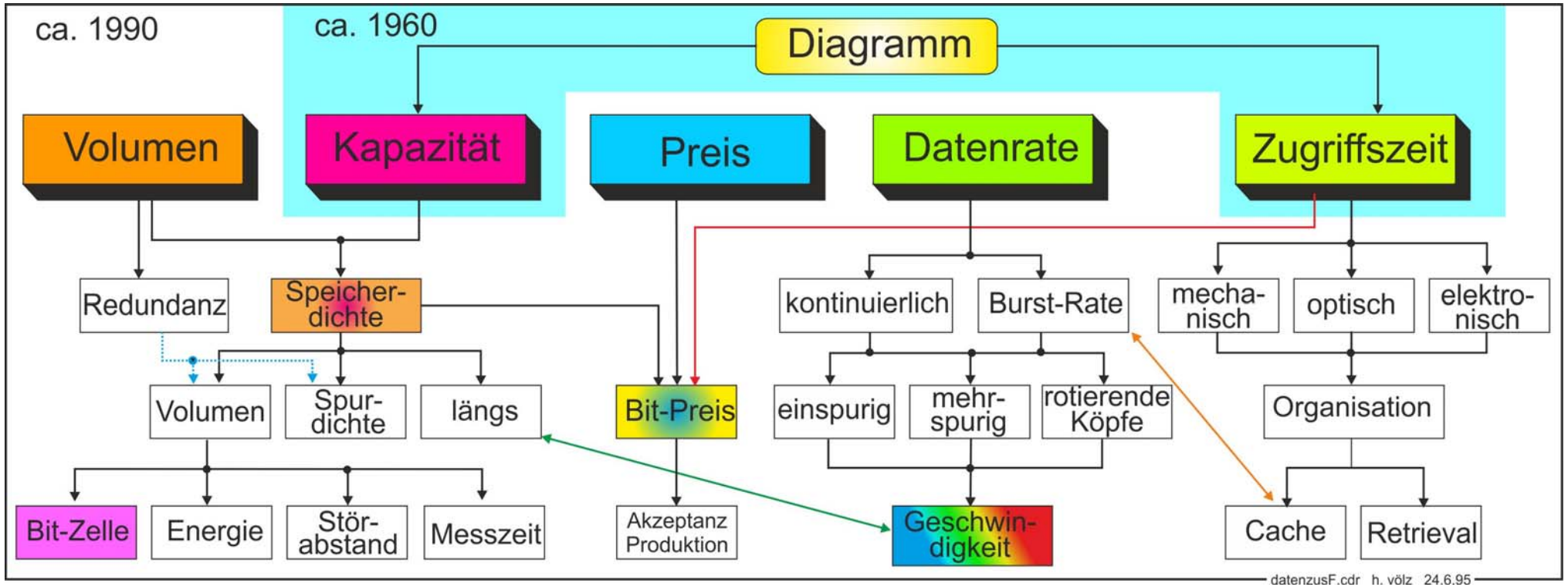
Geschichte der wichtigsten Speicher



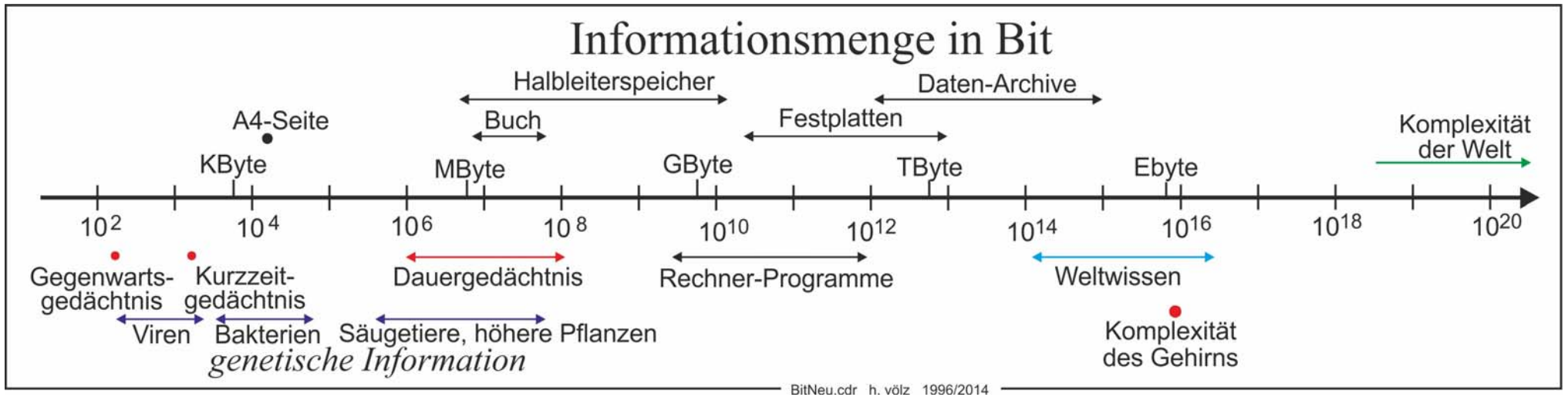
Dazu gehören aktuell etwa die folgenden Speicherkapazitäten

Typische Speicher-Kenndaten

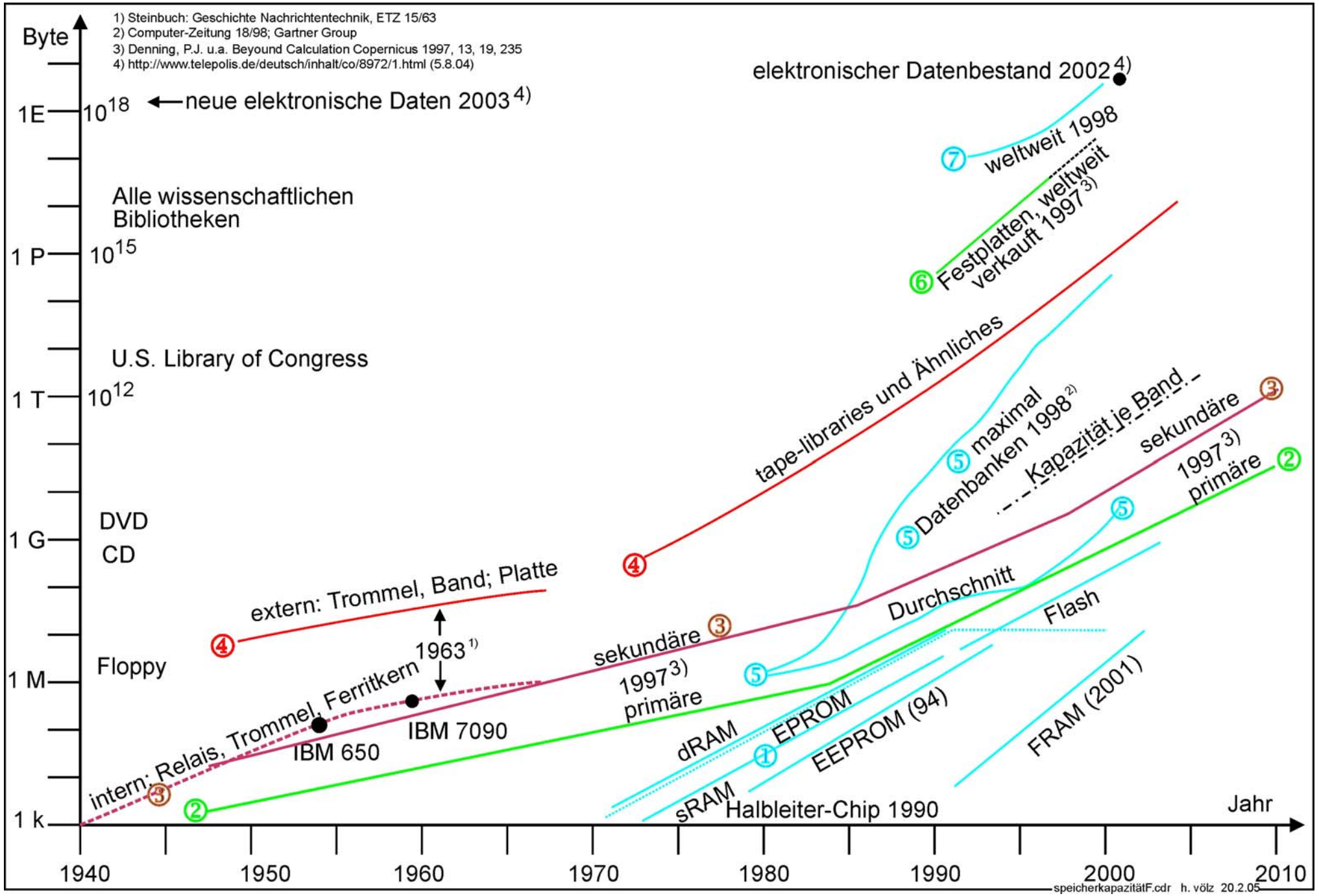
Es gibt eine Vielzahl von Kenndaten für Speicher. Ihre Anzahl ist im Laufe der Zeit stark angestiegen.
Deshalb wird hier nur der Zusammenhang für die wichtigsten, bereits 1990 üblichen Daten gezeigt.
1960 fand ich wahrscheinlich als erster den Zusammenhang von Kapazität und Zugriffszeit[5].
Auf viele Details wie Redundanz, Speicherdichte, Datenrate usw. wird im Folgenden verzichtet. s. [4]



Die vorhandenen Speicherkapazitäten

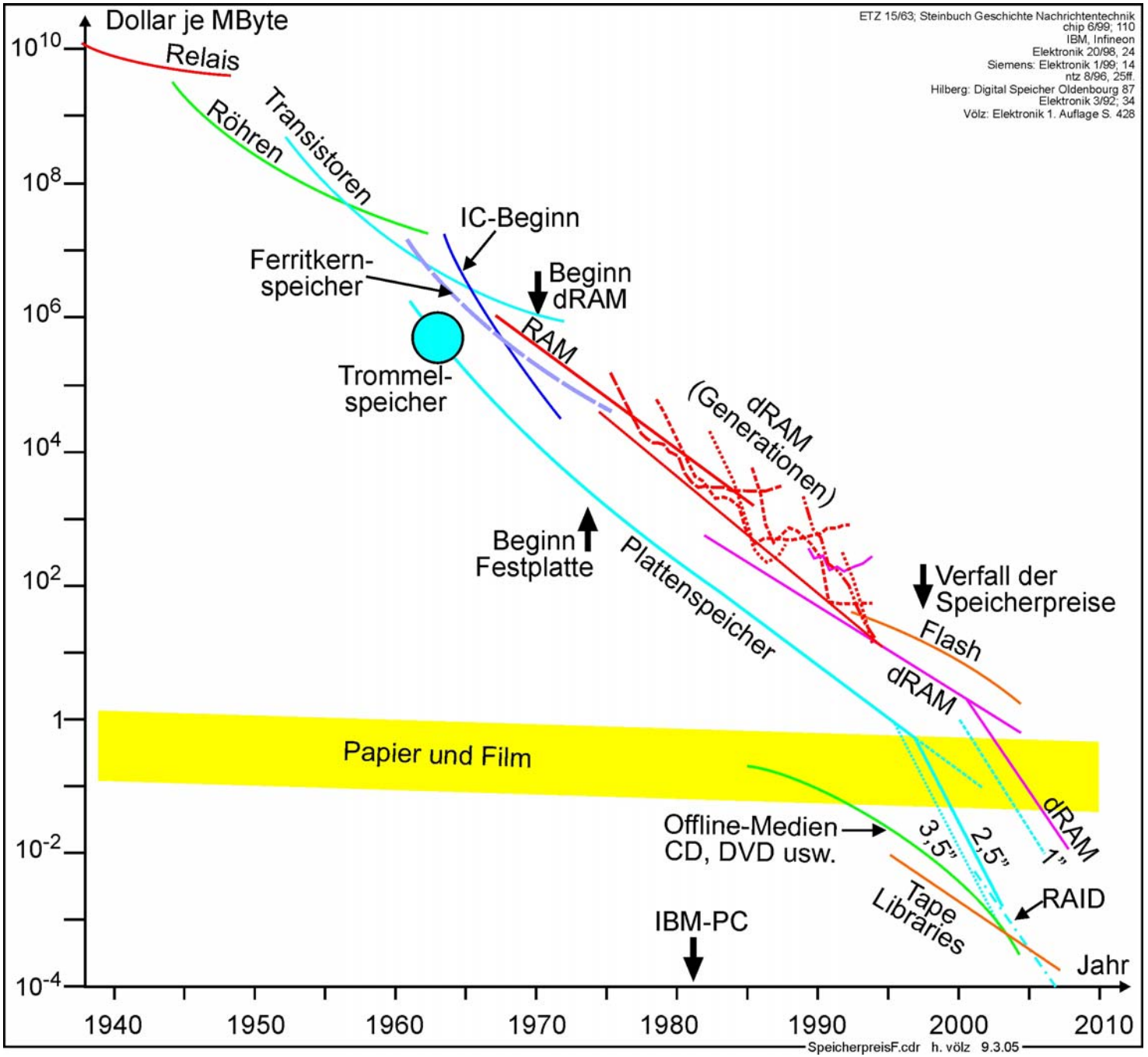


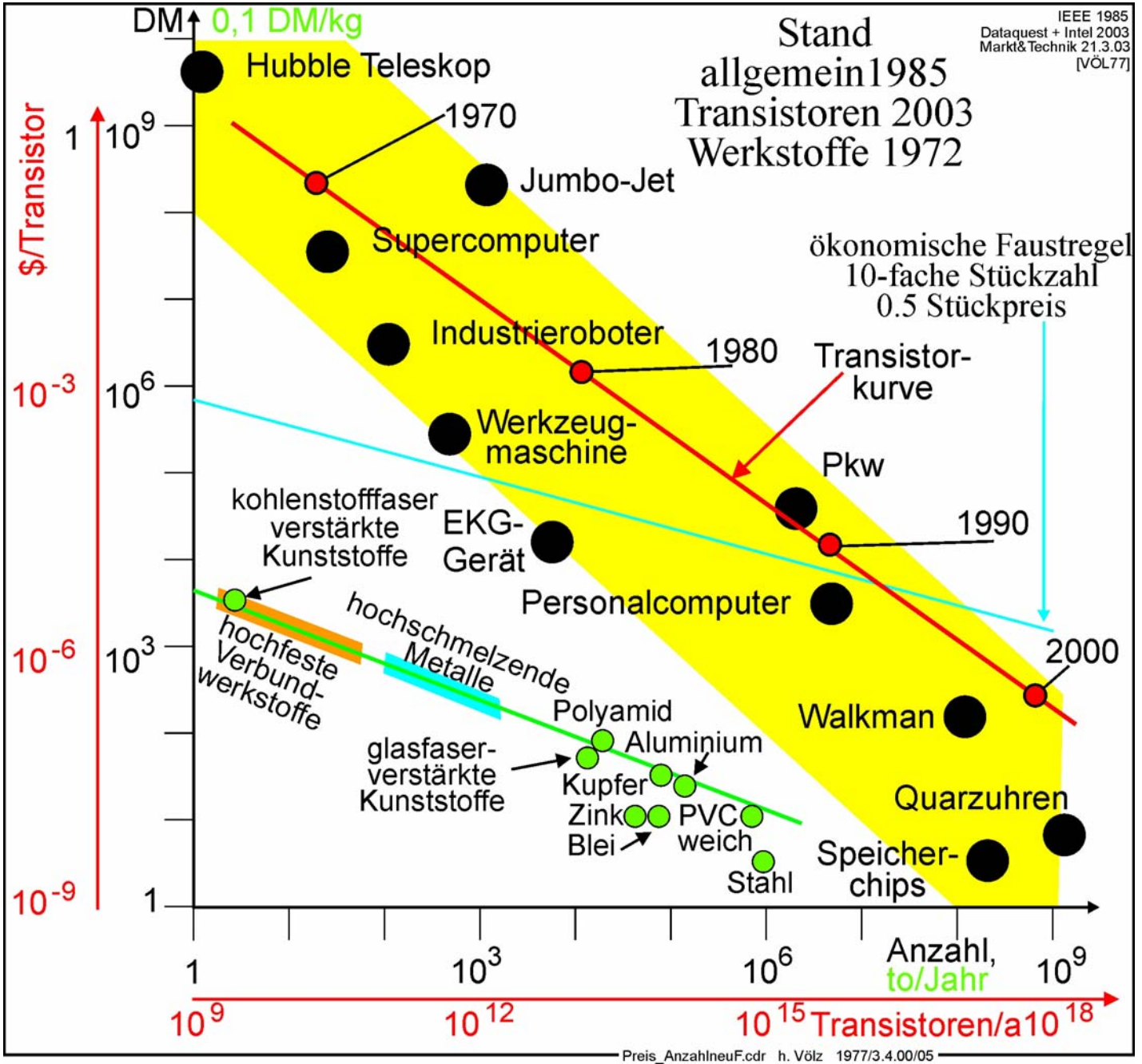
Die geschichtliche Entwicklung der technischen Speicher zeigt das folgende Bild


1) Steinbuch: Geschichte Nachrichtentechnik, ETZ 15/63
2) Computer-Zeitung 18/98; Gartner Group
3) Denning, P.J. u.a. Beyound Calculation Copernicus 1997, 13, 19, 235
4) http://www.telepolis.de/deutsch/inhalt/co/8972/1.html (5.8.04)
Byte
1E
1 P
1 T
1 G
1 M
1 k
10^18
neue elektronische Daten 2003 4)
elektronischer Datenbestand 2002 4)
Alle wissenschaftlichen Bibliotheken
10^15
U.S. Library of Congress
10^12
DVD
CD
Floppy
extern: Trommel, Band; Platte
intern: Relais, Trommel, Ferritkern
1963 1)
IBM 650
IBM 7090
sekundäre 1997 3)
primäre
tape-libraries und Ähnliches
weltweit 1998
Festplatten, weltweit verkauft 1997 3)
maximal Datenbanken 1998 2)
Kapazität je Band
sekundäre 1997 3)
primäre
Durchschnitt
Flash
dRAM
EPROM
EEPROM (94)
FRAM (2001)
sRAM
Halbleiter-Chip 1990
Jahr
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
speicherkapazitätF.cdr h. völz 20.2.05

Der relative Preis

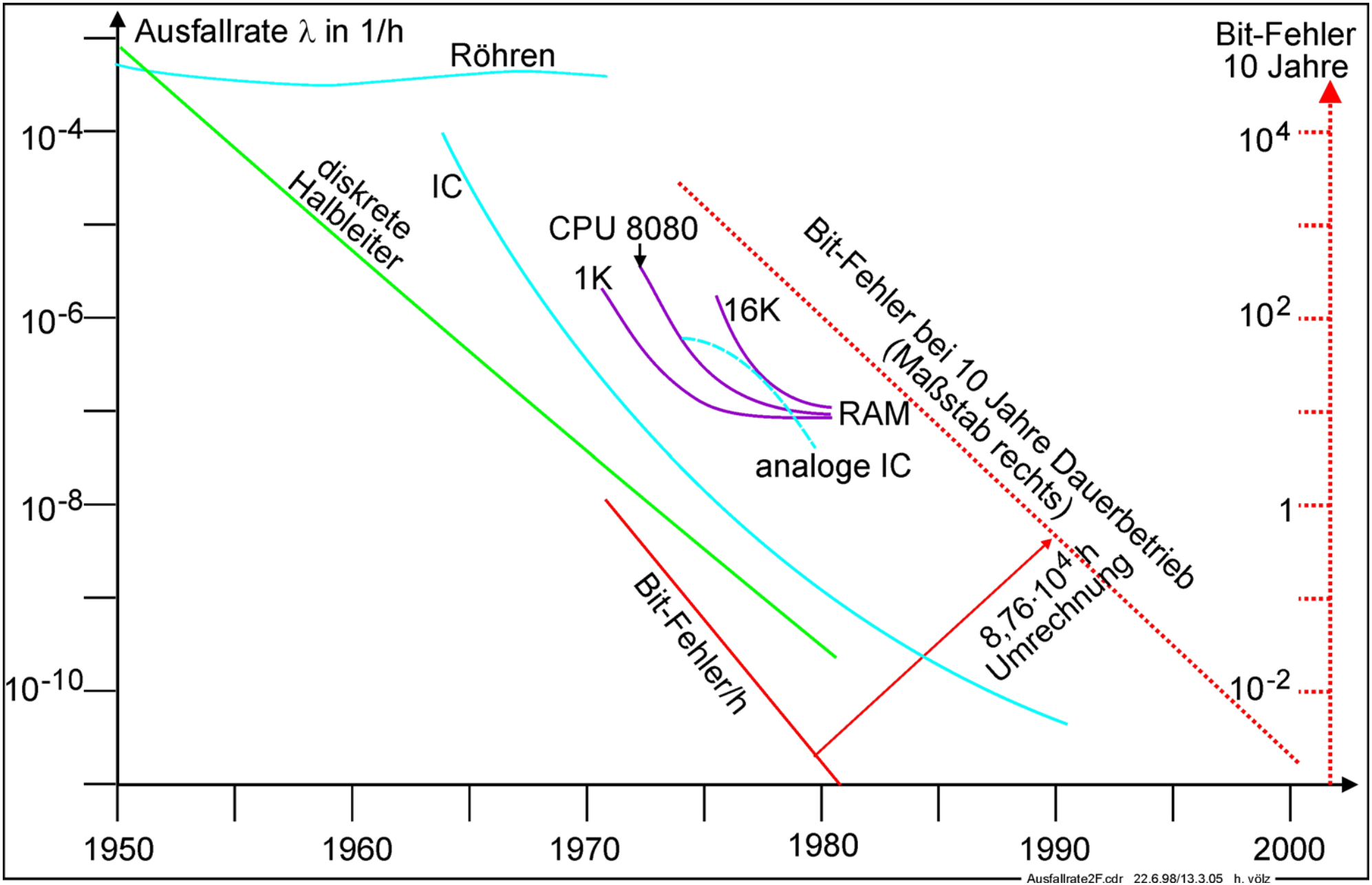
in $/MByte zeigt bis ***1995*** eine logarithmisch gleichbleibend ***fallende Tendenz***.
Bis zu diesem Zeitpunkt war für die Anwendungen immer ***zu wenig Speicherkapazität verfügbar***.
Von da an werden aber fast alle Bedürfnisse (Ausnahme Video) mehr als ausreichend befriedigt.
Das führt durch zeitweilige Überproduktionen zu Preiseinbrüchen und könnte künftig die große Speichervielfalt verringern.
Passend zu diesem Bild ist das allgemeine ökonomische Faustregel zwischen Produnktionszahlen und Preis.

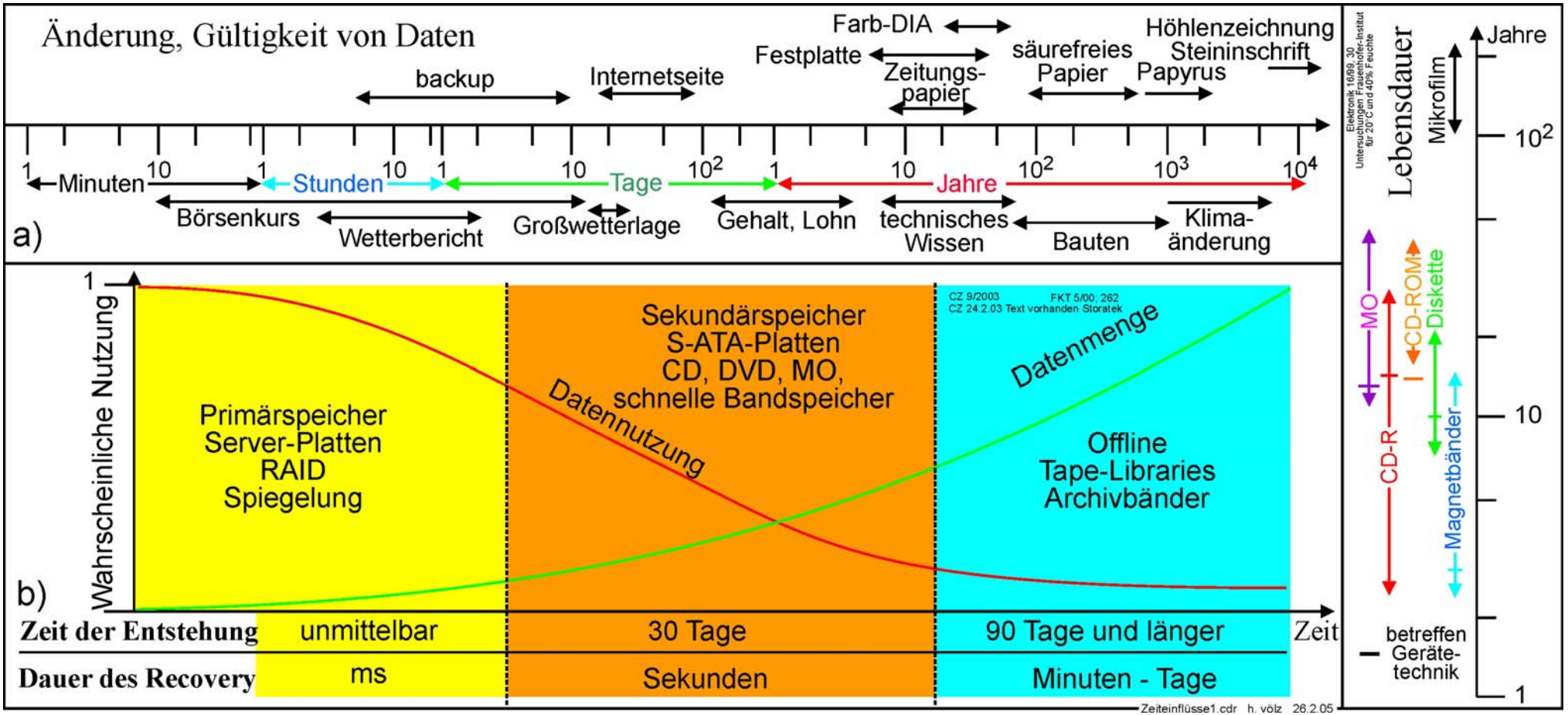



DM
0,1 DM/kg
Stand
allgemein1985
Transistoren 2003
Werkstoffe 1972
IEEE 1985
Dataquest + Intel 2003
Markt&Technik 21.3.03
[VÖL77]
Hubble Teleskop
1970
Jumbo-Jet
Supercomputer
ökonomische Faustregel
10-fache Stückzahl
0.5 Stückpreis
Industrieroboter
1980
Transistor-
kurve
Werkzeug-
maschine
Pkw
kohlenstofffaser
verstärkte
Kunststoffe
EKG-
Gerät
1990
Personalcomputer
2000
hochschmelzende
Metalle
hochfeste
Verbund-
werkstoffe
Polyamid
Aluminium
Walkman
glasfaser-
verstärkte
Kunststoffe
Kupfer
Zink
Blei
PVC
weich
Stahl
Quarzuhren
Speicher-
chips
$/Transistor
1
10^{-3}
10^{-6}
10^{-9}
10^{9}
10^{6}
10^{3}
1
1
10^{3}
10^{6}
10^{9}
Anzahl,
to/Jahr
10^{9}
10^{12}
10^{15} Transistoren/a 10^{18}
Preis_AnzahlneuF.cdr h. Völz 1977/3.4.00/05

Zur Fehlerrate

Es ist erstaunlich, dass die Fehlerrate der Halbleiter-Speicher mit der Entwicklung sehr umfangreich gesenkt wurde.
Dazu ist bekannt, dass mit der gesteigerten Integration die typisch ***anfälligen Lötverbindungen*** weitgehend ausgeschaltet werden.
Hier wirken sich also betont ***technologische Fortschritte*** aus.
Bei den anderen Speichern sind leider kaum hinreichend konkrete Aussagen bekannt.
Auf alle Fälle gibt es für eine solche Entwicklung keinen erkennbaren allgemeinen theoretischen Grund.
Deshalb sind im übernächsten Bild nur die jeweils typischen Werte zusammengestellt.
Zum Vergleich wurde dabei hinzugefügt, wie lange eine irgendwie gespeicherte ***Information noch gültig ist***.
Dieser Umstand relativiert die oft geforderte sehr lange Datensicherheit.
Durch die fast immer notwendige ***Speicherhierarchie*** ergeben sich weiter spezielle ***Backup***-Strategien.
Als Beispiel seien nur einige Bezeichnungen genannt: Hierarchisches Speicher-Management, High-end Storage Management (**HSM**), Information-Lifecycle-Management (**ILM**), Direct Attached Storage (**DAS**), Hierarchical One Volume Manager (**OVM-H**), Storage Area Networks (**SAN**) usw.

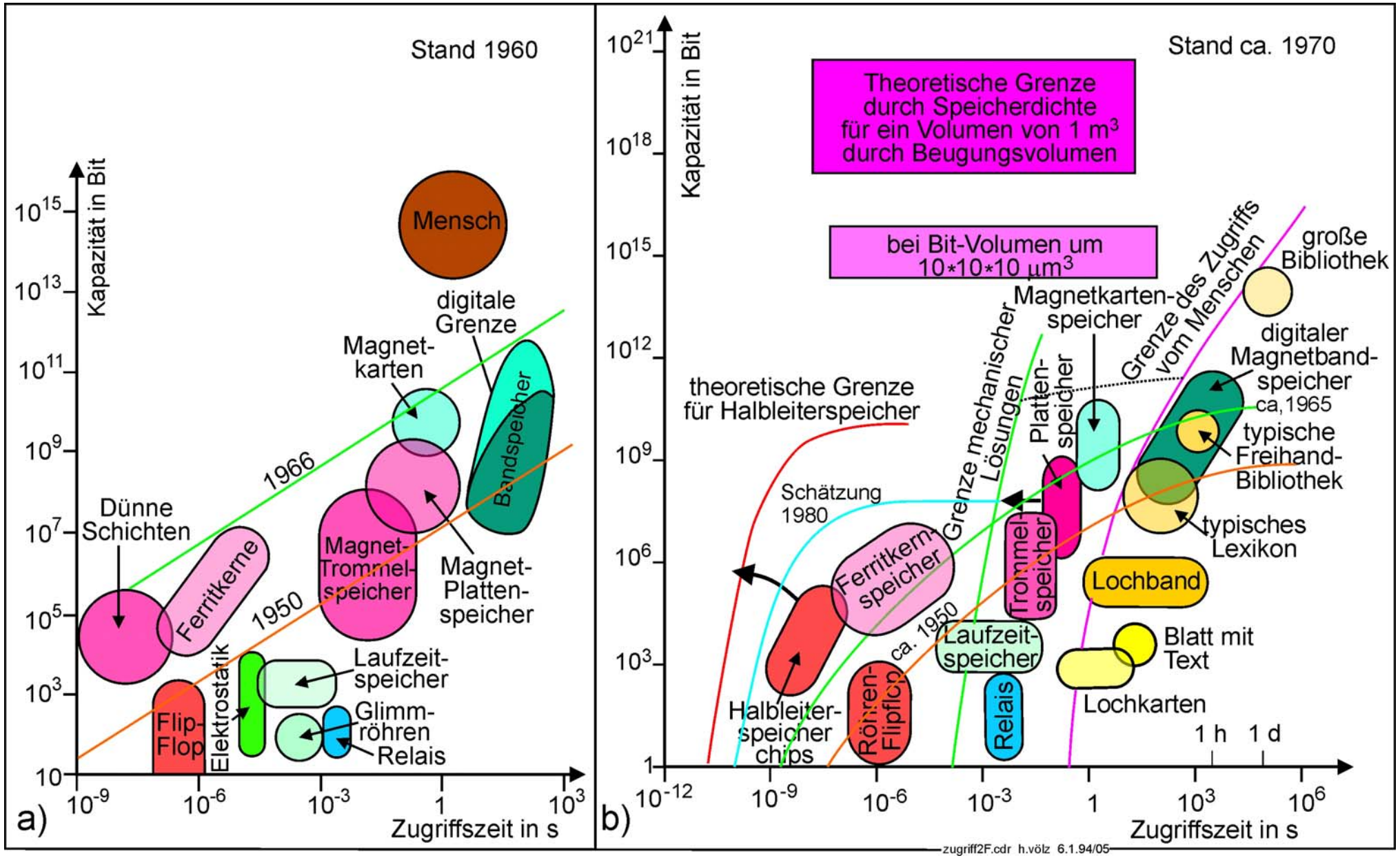

Ausfallrate λ in 1/h
Röhren
diskrete Halbleiter
IC
CPU 8080
1K
16K
RAM
analoge IC
Bit-Fehler bei 10 Jahre Dauerbetrieb (Maßstab rechts)
Bit-Fehler/h
8,76·10⁴ h Umrechnung
Bit-Fehler 10 Jahre
10⁻⁴
10⁻⁶
10⁻⁸
10⁻¹⁰
10⁴
10²
1
10⁻²
1950
1960
1970
1980
1990
2000
Ausfallrate2F.cdr 22.6.98/13.3.05 h. völz



Möglichkeiten und Grenzen der technischen Speicherung. a) Zeiten für die ***Aktualität von Daten***.
b) Sinnvoller Einsatz ***unterschiedlicher Techniken*** je nach zulässiger Zugriffszeit (z.B. Bei Entwicklungen)
c) zuverlässige Haltbarkeit von Daten auf Medien und von Geräten (oft moralischer Verschleiß)

Zugriff und Speicherkapazität

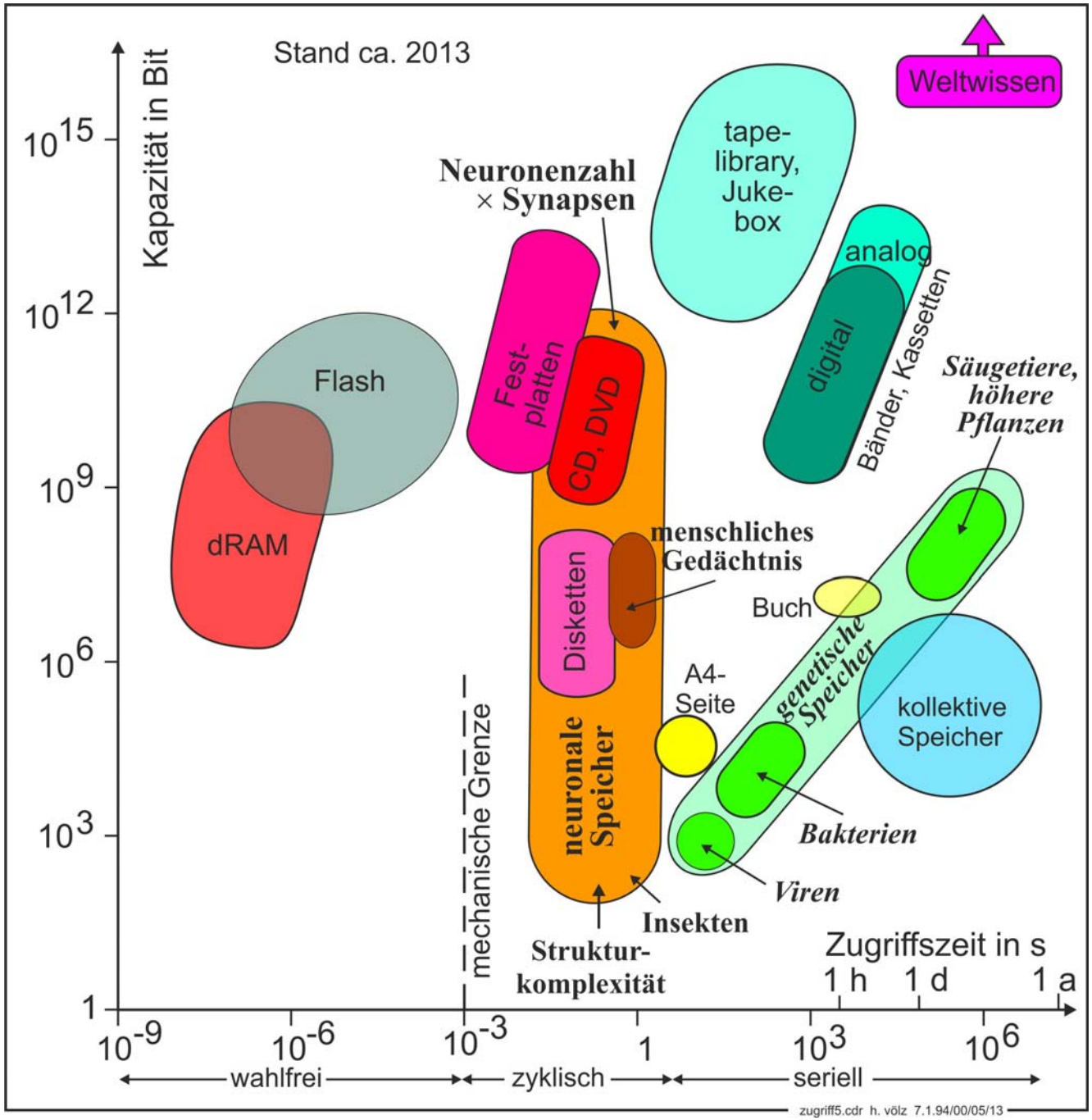
Für die meisten Anwendungen ist neben der verfügbaren Speicherkapazität auch die Zugriffszeit wichtig.
Sie hängt mehr von der ***jeweils benutzen Technik*** als von der zeitlichen Entwicklung ab.
Daher ergeben sich relativ enge Verknüpfungen zwischen beiden.
Sie hängen aber vom jeweiligen Stand der Technik ab
Das wird mit den folgenden Bildern gezeigt.
Zum Vergleich sind auch die Werte der genetischen und neuronalen Speicher einbezogen.


Stand 1960
Kapazität in Bit
Mensch
digitale Grenze
Magnet-karten
Bandspeicher
1966
Dünne Schichten
Ferritkerne
Magnet-Trommel-speicher
Magnet-Platten-speicher
1950
Elektrostatik
Laufzeit-speicher
Glimm-röhren
Relais
Flip-Flop
a)
Zugriffszeit in s
Stand ca. 1970
Theoretische Grenze durch Speicherdichte für ein Volumen von 1 m³ durch Beugungsvolumen
bei Bit-Volumen um 10*10*10 µm³
Grenze des Zugriffs vom Menschen
große Bibliothek
Magnetkarten-speicher
digitaler Magnetband-speicher ca,1965
theoretische Grenze für Halbleiterspeicher
Grenze mechanischer Lösungen
Platten-speicher
typische Freihand-Bibliothek
Schätzung 1980
Ferritkern-speicher
Trommel-speicher
typisches Lexikon
Lochband
Blatt mit Text
ca. 1950
Laufzeit-speicher
Halbleiter-speicher chips
Röhren-Flipflop
Relais
Lochkarten
1 h
1 d
b)
zugriff2F.cdr h.völz 6.1.94/05

Aus den Bildern folgt

Schon immer und auch jetzt noch gibt es keinen schnellen Speicher mit großer Kapazität.
Das erzwingt ***Speicherhierarchien***.
Dabei gibt es einen typischen Quotienten aus Speicherkapazität und Zugriffszeit.
So ergibt sich eine relativ gut lineare Grenze für ihn.
Trotz seiner Dimension in Bit/s entspricht er keiner Datenrate.
Sein Wert verlagert sich mit der fortschreitenden Entwicklung zu größeren Werten. Dabei gilt etwa:

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



Nutzbares Volumen für die Speicherung

Speichern ist u. a. Aufbewahrung von Etwas, sowohl Stoff, Geräte, Energie als auch Information
Hierzu ist immer ein Raum bzw. Volumen erforderlich, der die speicherbare Menge begrenzt $\Rightarrow$ Bit/m^3
Insbesondere bei der Speicherung müssen dabei drei Größen unterschieden werden:

- ***Bitdichte*** im Speichermaterial, sie kann bezogen sein auf
  a) Volumen b) (Ober-) Fläche oder c) Länge innerhalb einer Spur oder Spurdichte
- ***Volumenanteil*** des zur Speicherung benutzten Materials in einem ***Speichermedium***
- Nutzbares Volumen in einem ***Gebäude* (*für Speichergeräte*)**, z. B. in einer Bibliothek oder einem Gehäuse

Aus dieser Abfolge ergibt sich die Redundanz des Speichermediums im Vergleich zu dessen Betrieb und Lagerung.

Redundanz der Speicherung

Betriebnotwendiges Volumen ⇔ Volumen des eigentlichem Speichermaterials
Es sind ***Abstufungen*** im Volumen zu beachten, z. B.:

Elektronik

pn-Struktur ⇒ unverkapselte Chip ⇒ Chipgehäuse ⇒ Leiterplatten ⇒ Geräte

Magnetband-Technik

Magnetschicht ≈2 µm Dicke, meist ist weniger als 0,5 µm magnetisiert
⇒ ***Mechanische Stabilität*** erfordert Unterlage ≥5 µm
⇒ Auf ***Spule gewickeltes Band***: Wickelkern und Seitenhalterung
⇒ ***Schutzhülle*** oder ***Kassette*** nutzt bestenfalls $^1/_5$ für das Band; Summe bis hier ≈1/20 des Volumens
⇒ Das notwendige ***Laufwerk*** vergrößert die Redundanz deutlich weiter
jedoch umso geringer, je mehr Bänder verwendete werden
⇒ (automatisierte) ***Bandbibliothek*** fordert weitere Redundanzen

Klassische Bibliothek

Text und Bilder in Büchern <1%, Papiervolumen, Leerflächen auf den Seiten
⇒ Bücher wohlgeordnet in Regalen, Mensch (evtl. Roboter) leichten Zugriff hat ≈5 %
⇒ Gebäude: Gänge, Treppen, Aufzüge, Klimaanlagen, Versorgungs-, Arbeits-, Leseräume usw.
⇒ Bestenfalls ≈20 % des Gebäudes für „Buchräume“, für Bücher ≈1 % nutzbar

Überblick zur Volumen-Redundanz

	Halbleiter	Festplatte	CD, DVD usw.	Diskette	Bandtechnik	dig. Holographie
Gerät, Einrichtung	Leiterplatte, Minikarte	Gerät mit Elektronik	Laufwerk	Laufwerk	Laufwerk	optische Einrichtung
Verpackung, Schutz usw.	Gehäuse	nicht extra vorhanden	teilweise Schutzhülle	Hülle + Verpackung	Kassette oder Spule	Schutz-verpackung
notwendiger Träger	Chip	Alu- oder Glasträger	Polycarbo-natschicht	Unterlage	Unterlage	notwendig?
Speicher material	pn-Übergänge, Gates usw.	Magnet-schicht	Farbstoff, RW-Material usw.	Magnet-schicht	Magnet-schicht	Holografie-material
Redundanz	1000	5000	2000	2000	200	≤2
Bemerkung	auf Leiterplatte kaum austauschbar	nur Gerät austauschbar	Hülle entfällt teilweise			3D-Aufzeichnung möglich

In die Volumen-Speicherdichte geht zusätzlich der Unterschied von ***Einwandler-*** und ***Vielwandler***-Prinzip ein
Ein Wandler für alle Bit (optische Einheit, Magnetkopf) ermöglicht eine deutlich ***höhere Speicherdichte***
Verlangt aber einen ***Transport*** zu den einzelnen Bit. Das kostet ***Zeit***.

Geräte-Klassen ⇒ Speichervolumen

Bestimmt durch ***Handhabbarkeit, Bedienung, Transport, Reparatur, Nebenräume, Klimaanlagen***
Wichtig sind 4 Klassen

Handgeräte ($\approx 1\ dm^3$) ⇔ ***Standgeräte*** ($\leq 1\ m^3$) ⇔ ***Räume*** ($\approx 100\ m^3$) ⇔ ***Häuser*** ($\approx 10^6\ m^3$)

Abschätzung für ***elektronische Speicher***

Standgerät: pn-Strukturen $\approx 10^{-6}$ - 10^{-8}, im ***großen Gebäude*** ≈10 000 Standgeräte

Daher maximal **mögliches Speichervolumen ≈1 m^3**

Auch für Band-, DVD-Bibliotheken usw. ergeben sich wohl kaum wesentlich größere Werte
Mit der höchstmöglichen Speicherdichte von 10^{22} Bit/m^3 wären in einem sehr großen Gebäude $\leq 10^{22}$ Bit verfügbar

Konstruktive Besonderheiten

Bei den bewegten Speichermedien folgen oft zeitlich nacheinander: **Trommel ⇒ Platte ⇒ Band.** Beispiele
***Musik-Automaten**

Stift-Walze bereits bei alten Griechen noch heute bei Spieluhren
Rotierende Lochplatte Platte verbesserte Weiterentwicklung bis zum Orchestrion
Lochband bei Selbstspielklavier (Mignon-Flügel)

*Tonwalze Edision ⇒ Schallplatte (Berliner) ⇒ Band beim Tefifon
*Trommelspeicher 1931, Magnetband 1945, jedoch Festplatte und Diskette (ausnahmsweise später!
* kein Lochzylinder bekannt: Lochkarte ⇒ Lochband ()
* CDR ⇒ In Kanada ähnliches Medium für Band, hat sich leider wenig bewährt

Zwei Hauptgründe:

1. Übergang von konstruktiver Einfachheit zu Komplexität des Transportwerkes (Nachteil).
2. Wachsende Speicherkapazität (s. u.).

Dabei tritt aber meist eine sinkende ***Zugriffszeit*** auf.
Sie ist jedoch nicht immer von Einfluss, besonders bei fortlaufenden Signalen (Schall und Video).

Speichermöglichkeit je Volumen

Zur Vereinfachung wird das eigentliche ***Archiv-Volumen*** mit Verpackung (Quader) nicht berücksichtigt.
Die Volumenzunahme dürfte außerdem bei allen drei relativ gleich sein.
Für alle drei wird außerdem die gleiche ***Speicherdichte*** vorausgesetzt.

Die Kenndaten beim ***Zylinder*** sind: l = Länge und r = Radius
Bei ***Platte*** und ***Band*** gilt d = Dicke der Platte oder des Bandes; b = Breite des Bandes

Für die Nutzung kommen noch hinzu: r_a = äußerer Radius; r_i = innerer Radius.
Eine brauchbare (übliche) Näherung ist $r_i \approx 0{,}3 \cdot r_a$, also $(r_i/r_a)^2$; $\approx 0{,}1$.
Es folgt so:

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

Rein rechnerisch sind die relativen Oberflächen bei ***Platte und Band gleich***. Das ist zunächst recht unanschaulich!

Unterschied Platte und Band

Beim ***Zylinder*** nimmt die relative Oberfläche mit dem zunehmenden Radius *r* ab.
Für eine hinreichende Daten-Menge und -Rate muss er aber eine Mindestgröße besitzen.
Daher schlechte Ausnutzung des Volumens.

Für die ***Platte*** und das ***Band*** ist eine ***ergänzende Betrachtung*** notwendig:

Bei der ***Platte*** wirkt ihre Dicke *d* begrenzend. Für ***hinreichende Stabilität*** muss $d \geq$ **1 mm** gelten.
Unwesentlich geringer ist der Wert bei flexiblen Disketten.

Beim ***Band*** begrenzt die Dicke dagegen die Windungszahl des Wickels und somit Länge des Bandes.
Hier genügen aber bereits Werte $d \leq$ **50 µm**.
Daher ist die relative wirksame Oberfläche beim Band ***mindestens 20-mal größer***, als auch die Speicherkapazität.
Zumindest auf noch längere Zeit bleibt das Magnetband das „letzte“ Speichermedium für große Datenbanken

Mögliche zukünftige Speicher

Trotz der mehr als genügend vorhandenen Speicherkapazität wird weiter intensiv an neuen Speichern geforscht.
Die Schwerpunkte betreffen dabei vor allem drei Gebiete.

- Speicher mit ***sehr großer Kapazität für praktisch unveränderliche Daten*** (gegen digital lost).
  Ein wesentlicher Schwerpunkt ist dabei ein sehr lange zuverlässiger Datenbestand (Jahrhunderte).
  Sie besitzen vorwiegend ROM-Eigenschaften, z.B. in Glas eingebrannte Pixel, angeordnete Atome usw.
- Speicher ***großer Kapazität mit sehr kurzer Zugriffzeit***, Ansätze sind hierfür u.a. mit der digitalen ***Holografie***, der mechanisch „***Tausendfüssler***“ von IBM und ***magnetische Wandverschiebungen.***
- ***Ersatz für den dRAM*** mit Datenerhalt ***ohne Refresch*** und Betriebspannung, also verschiedene ***rRAM*** (s. o.)
  Sie würden das Starten der Rechner unnötig machen, wesentlich schneller und kleiner sein und hätten deutlich geringeren Energieverbrauch.

Größere Chancen zum Durchbruch hat wahrscheinlich nur die letzte Variante.
Deshalb werden im Folgenden einige Beispiele dazu kurz behandelt.
Welche Variante sich davon durchsetzt ist heute kaum zu entscheiden.
Die Erfahrung zeigt, dass es meist ***nicht das technisch und/oder ökonomisch Beste*** ist, sondern sogar das Gegenteil.
Wesentlicher scheint das verfügbare ***Kapital eines Konzerns*** und die ***Macht der Manager*** zu sein.
Ferner ist hierzu eine Aussage von STEINBUCH zu erwähnen, der einmal sinngemäß gesagt hat:
Wenn ***Experten*** behaupten, dass es möglich sei, so ist es auch mit sehr großer Wahrscheinlichkeit realisierbar;
wenn sie aber warnen, dass geht bestimmt nicht, dann ist äußerste Vorsicht angebracht.
Ihr Denken bewegt sich weitgehend in ihren Erfahrungen und ist damit besonders auf das schon Vorhandene fixiert.
Junge Wissenschaftler sind hier im Gegensatz zu Experten oder gar Managern deutlich kreativer und risikofreudiger.

Mögliche neue Arbeitspeicher

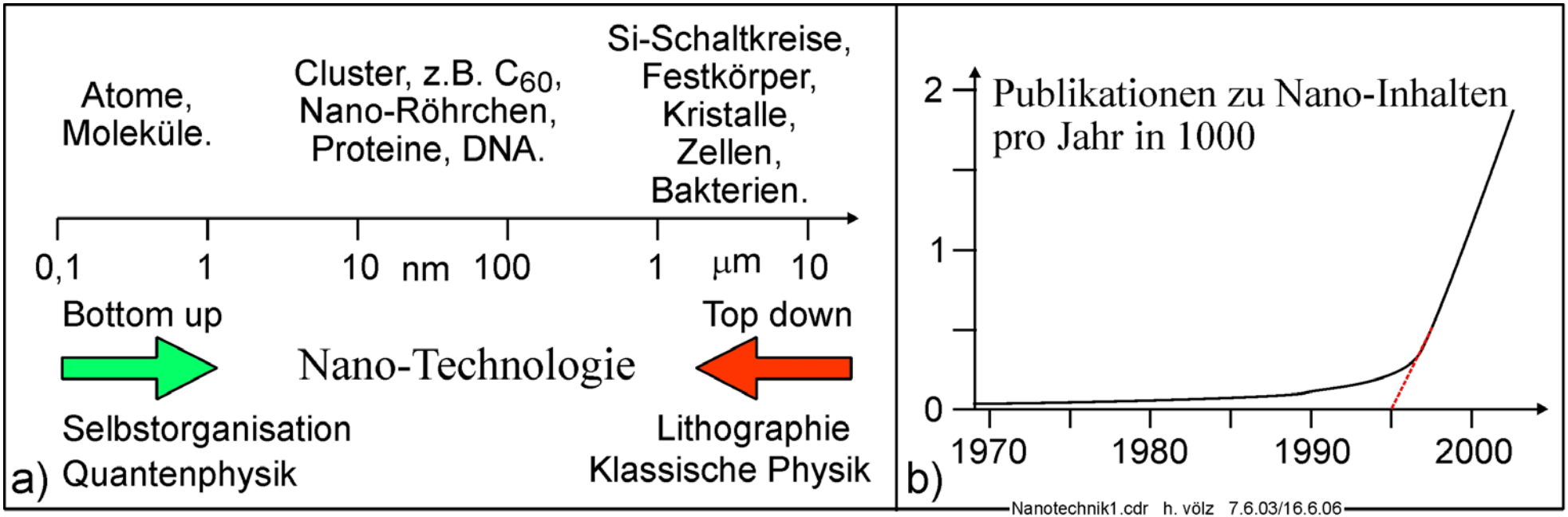
wesentlich neue Entwicklungen kann hier die Nanotechnologie bringen.
Sie ermöglicht es, vom heute üblichen ***Top down zum Bottom up*** überzugehen.
Dadurch können u. a. ***Selbstorganisation, Selbstheilung*** und ***Quantenphysik*** als einfachere Verfahren zur Anwendung kommen.

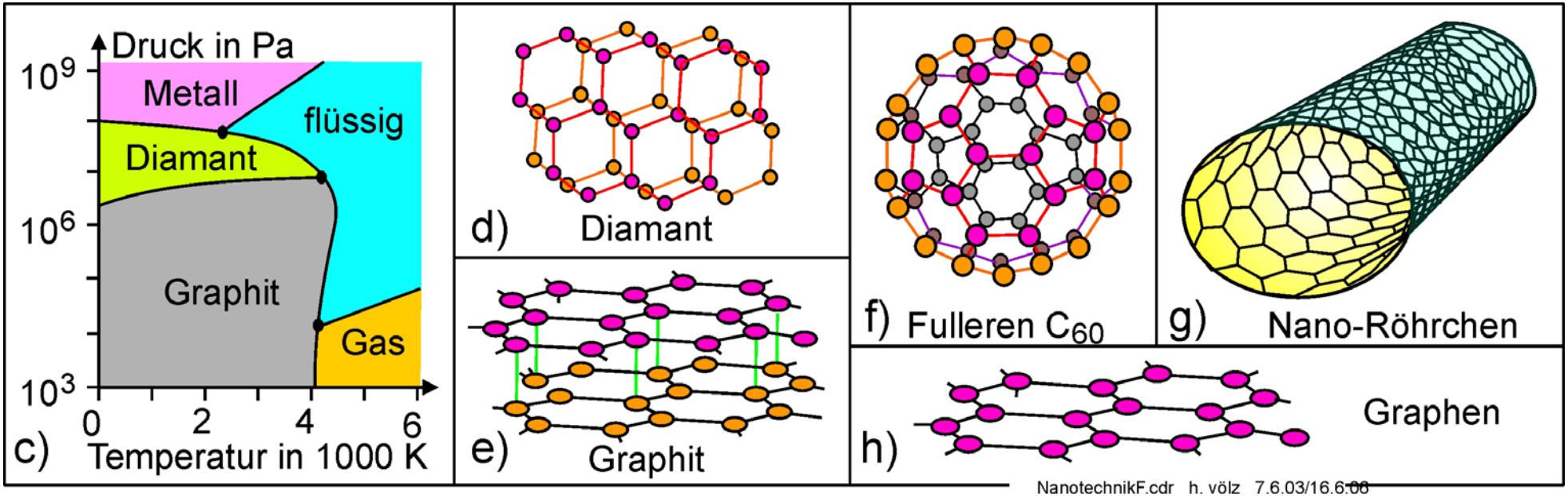
Wesentliche Beispiele sind hierfür zunächst ***auf Kohlenstoffbasis*** entstanden.
Das sind vor allem ***Nano-Röhrchen*** und ***Graphen*** mit ihren sehr speziellen elektronischen Eigenschaften
Dazu gehören u.a. $R \rightarrow 0$, also streufreier Elektronenfluss sowie quantenphysikalische Eigenschaften.
So entstanden u. a. neue Varianten des FET (übernächstes Bild)

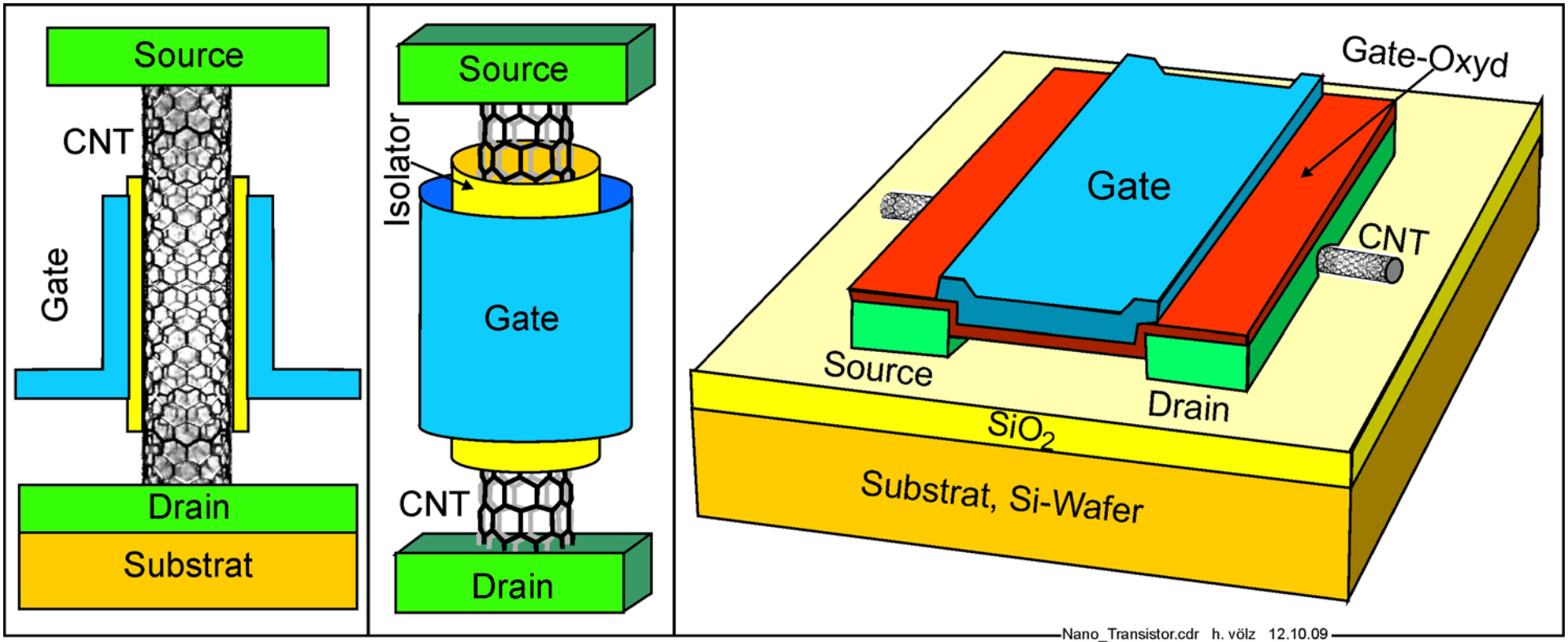
Bei Graphen sind in den letzten Jahren zusätzlich auch ***neue magnetische Eigenschaften*** gefunden.

Als ***neue Speichervarianten*** werden intensiver diskutiert bzw. erprobt:

FRAM benutzen den Ferromagnetismus als Kondensatoren (Ladungsspeicherung) oder zur Verschiebung der FET-Schwelle. Sie arbeiten bei Aufzeichnung und Widergabe elektrostatisch.
MRAM gehen auf magnetische Effekte zurück. Sie werden durch einen elektrischen Strom ummagnetisiert und ändern dadurch quantenmechanisch ihren elektrischen Widerstand.
PRAM (**P**hase Change) bzw. **Ovonics** (auch X-RAM, P-RAM, PC-RAM, OUM = **o**rganic **u**nified **m**emory) wird die Speicherzelle zwischen kristallin und amorph durch Wärmewirkung umgeschaltet. Dabei ändert sich der elektrische Widerstand.
ORAM mit echt organischen Verbindungen
Memristor, der schon lange vorausgesagt wurde nun aber 2014 gefunden wurde.
[4] und [10]

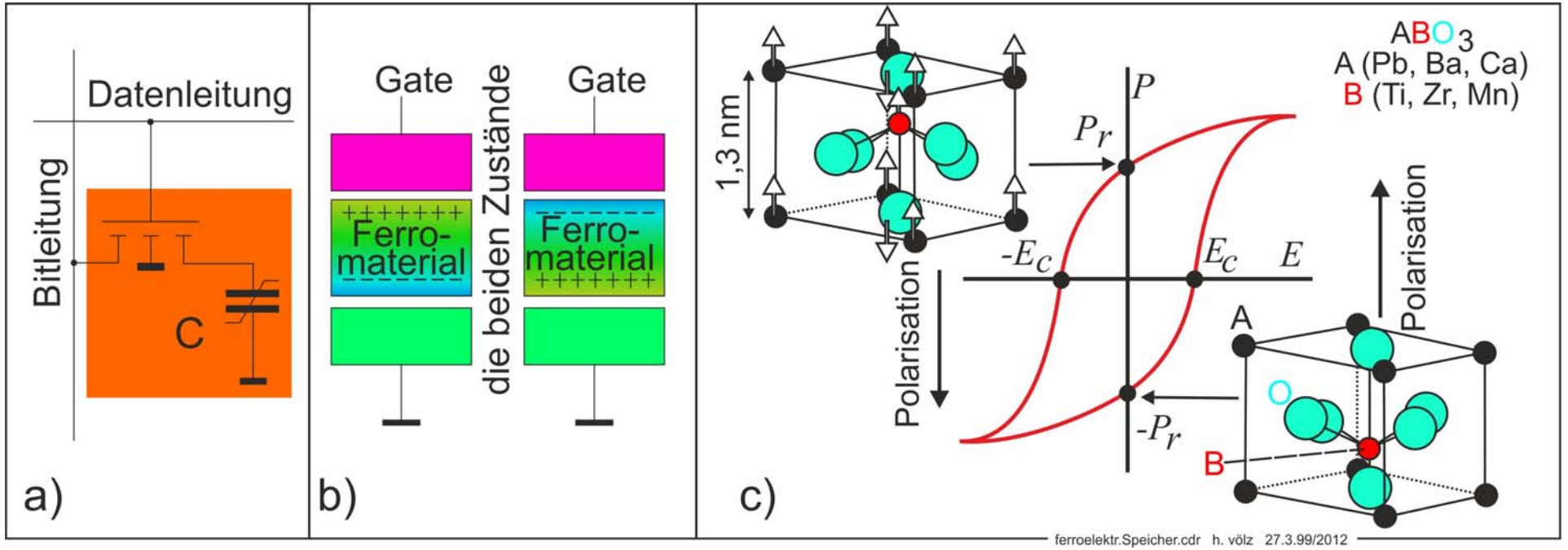

Atome,
Moleküle.
Cluster, z.B. C60,
Nano-Röhrchen,
Proteine, DNA.
Si-Schaltkreise,
Festkörper,
Kristalle,
Zellen,
Bakterien.
0,1
1
10
nm
100
1
µm
10
Bottom up
Top down
Nano-Technologie
Selbstorganisation
Quantenphysik
Lithographie
Klassische Physik
a)
Publikationen zu Nano-Inhalten
pro Jahr in 1000
2
1
0
1970
1980
1990
2000
b)
Nanotechnik1.cdr h. völz 7.6.03/16.6.06


Druck in Pa
10^9
10^6
10^3
Metall
flüssig
Diamant
Graphit
Gas
0
2
4
6
c)
Temperatur in 1000 K
d)
Diamant
e)
Graphit
f)
Fulleren C60
g)
Nano-Röhrchen
h)
Graphen
NanotechnikF.cdr h. völz 7.6.03/16.6.06


Source
CNT
Gate
Drain
Substrat
Source
Isolator
Gate
CNT
Drain
Gate-Oxyd
Gate
CNT
Source
Drain
SiO2
Substrat, Si-Wafer
Nano_Transistor.cdr h. völz 12.10.09

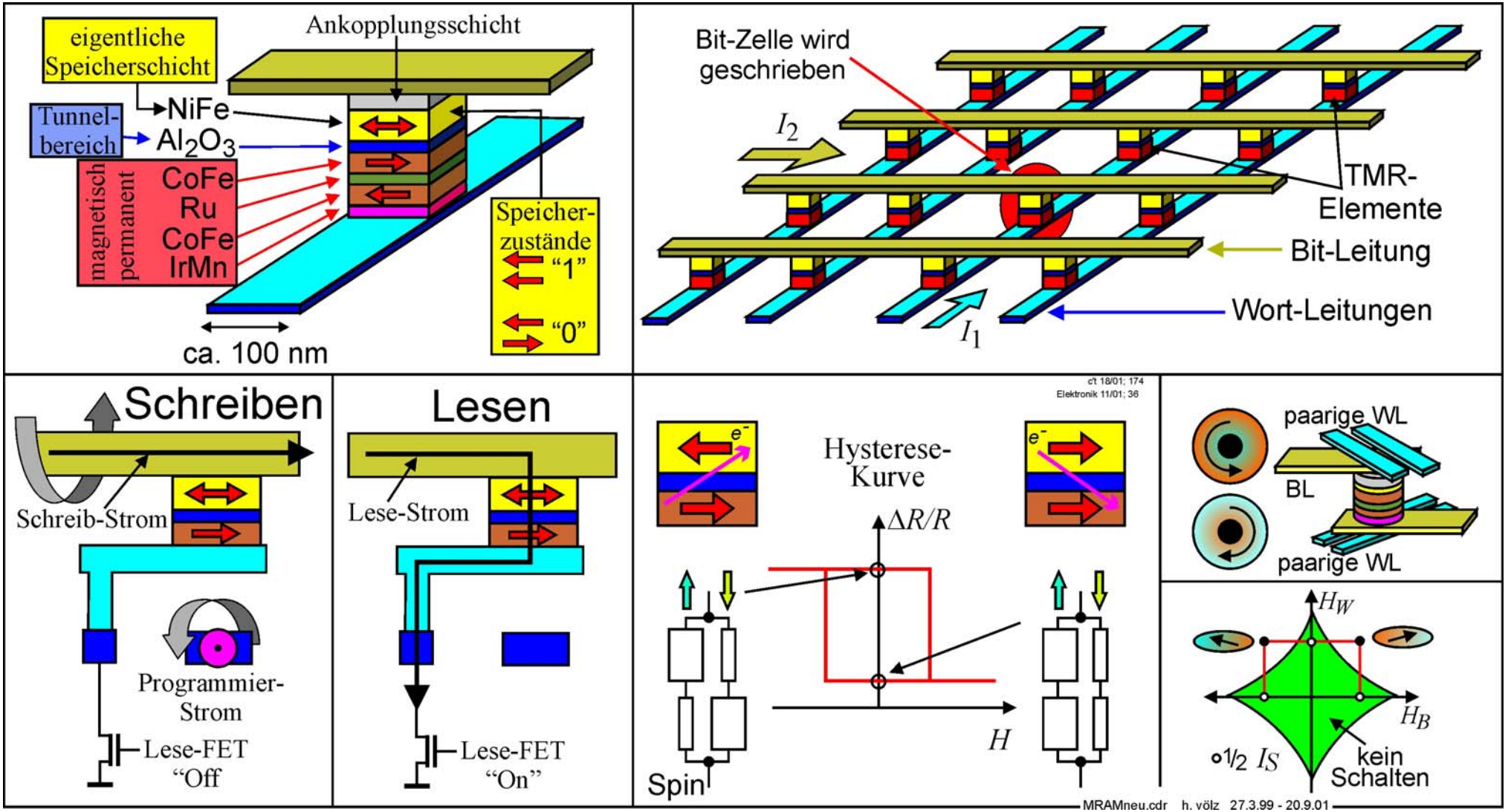
FeRAM

Um 1920 entdeckte J. VALASEK das Rosette-Salz und die Möglichkeit seiner Umpolarisation.
Um 1955 wurden die ferroelektrischen Perovskit-Kristalle, u. a. PZT, entdeckt.
1970 waren bereits mehr als 1500 Ferroelektrika bekannt
Seit vielen Jahren sind ferroelektrischen Folien bekannt, die permanent elektrisch polarisiert sind.
Bei den kleinen Mikrofonen werden sie seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt.
Forschungen zu Speichern begannen in den 60er Jahren, 1992 versuchte Ramtron das PZT (später SBT).
1993 konnte es erste 4 KBit-Speicher als Muster bereitstellen. dabei hat es den Namen FRAM schützen lassen
Seit dem Konkurrenten begannen (ca. 1997) wird der Begriff FeRAM (sogar umfassender) benutzt
Typisch sind Zellgröße <1 μm^2, Zugriffszeiten <50 ns und Betriebsspannungen <3 V



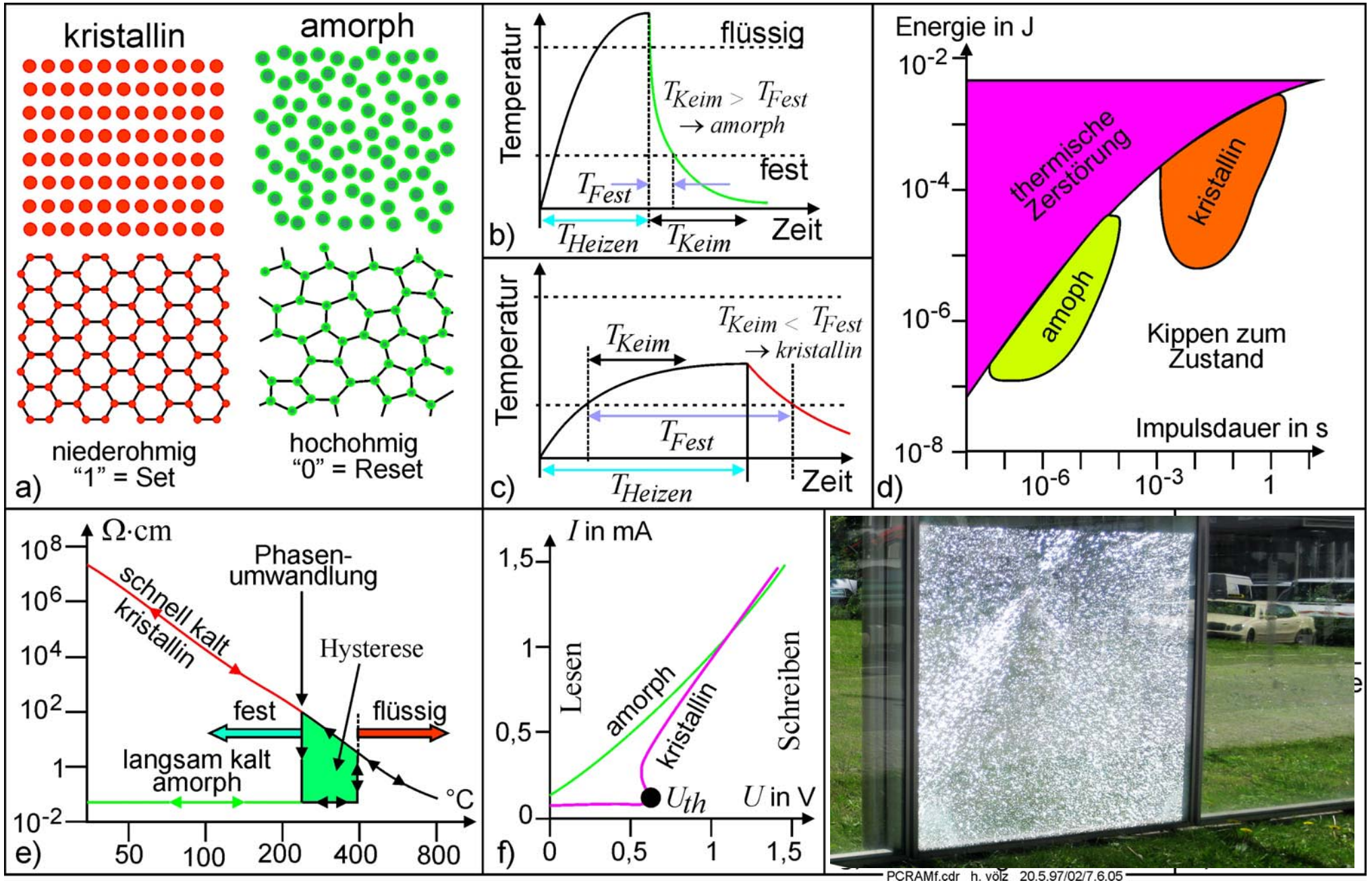
MRAM

magnetische Speicher sind die ältesten Arbeitsspeicher, ab etwa 1950 als Ferrit-Ringkernen.
Bis ca. 1970 waren sie sogar die einzigen effektiven Arbeitsspeicher
In den 60er bis in die 80er Jahre wurden mit großem Forschungsaufwand Draht-, Bubble- (Magnetblasen-) und Dünnschicht-Speicher erprobt.
Infolge ihrer sehr hohen Strahlenfestigkeit erlangten sie lediglich zeitweilig im Weltraum etwas größere Bedeutung.
Ab den 80er Jahren bis heute werden fast nur die Halbleiter für Arbeitsspeicher benutzt.
In den letzten zwanzig Jahren erlangten die magnetoresistiven Wiedergabeköpfe bei Festplatten breite Anwendung
Die Kombination magnetischer Effekte mit Halbleitern führte zu den **MRAM.**
Bereits Mitte der 80er Jahre untersuchten ARTHUR POHM und JIM DAUGTON bei Honeywell solche Möglichkeiten.
Sie führten u.a. zu einem 1993 patentierten CRAM (*englisch cros-tie* gekreuzte Verbindung)
Da hierbei die magnetische Anisotropie genutzt wurde, entstand auch der Name AMR (**a**nisotropic **m**agneto **r**esistance).
Erste brauchbare Muster mehrerer Firmen gab es ab 2000. 2006 stellte Freescale den ersten Serien-4-MBit-MRAM her.
Die MRAM besitzen hervorragenden Eigenschaften: geringer Stromverbrauch, zerstörungsfreies Auslesen, beliebig häufiges Neueinschreiben ohne Löschung, sehr hohe Strahlungsresistenz.
Die Aufzeichnung erfolgt immer mit einem Strom, der einen magnetisierbaren Bereich umschaltet
Damit er nicht zu groß sein muss, sind sehr kleine, speziell aufgebaute Zellen mit nicht zu hoher Koerzitivfeldstärke erforderlich.
Für die Wiedergabe können mehrere Effekte genutzt, die etwas komplex zusammenhängen MRAM
Der MRAM gehört zu den recht wahrscheinlichen künftigen Arbeitsspeichern
Es werden z. T. auch andere Effekte, z B. mit Tunnelströmen erprobt. Weiter Details s. [4] S. 203 ff.


eigentliche Speicherschicht
Ankopplungsschicht
Tunnel-bereich
NiFe
Al_2O_3
magnetisch permanent
CoFe
Ru
CoFe
IrMn
Speicher-zustände
"1"
"0"
ca. 100 nm
Bit-Zelle wird geschrieben
I_2
TMR-Elemente
Bit-Leitung
Wort-Leitungen
I_1
Schreiben
Schreib-Strom
Programmier-Strom
Lese-FET "Off"
Lesen
Lese-Strom
Lese-FET "On"
c't 18/01; 174
Elektronik 11/01; 36
Hysterese-Kurve
$\Delta R/R$
H
Spin
paarige WL
BL
paarige WL
H_W
H_B
½ I_S
kein Schalten
MRAMneu.cdr h. völz 27.3.99 - 20.9.01

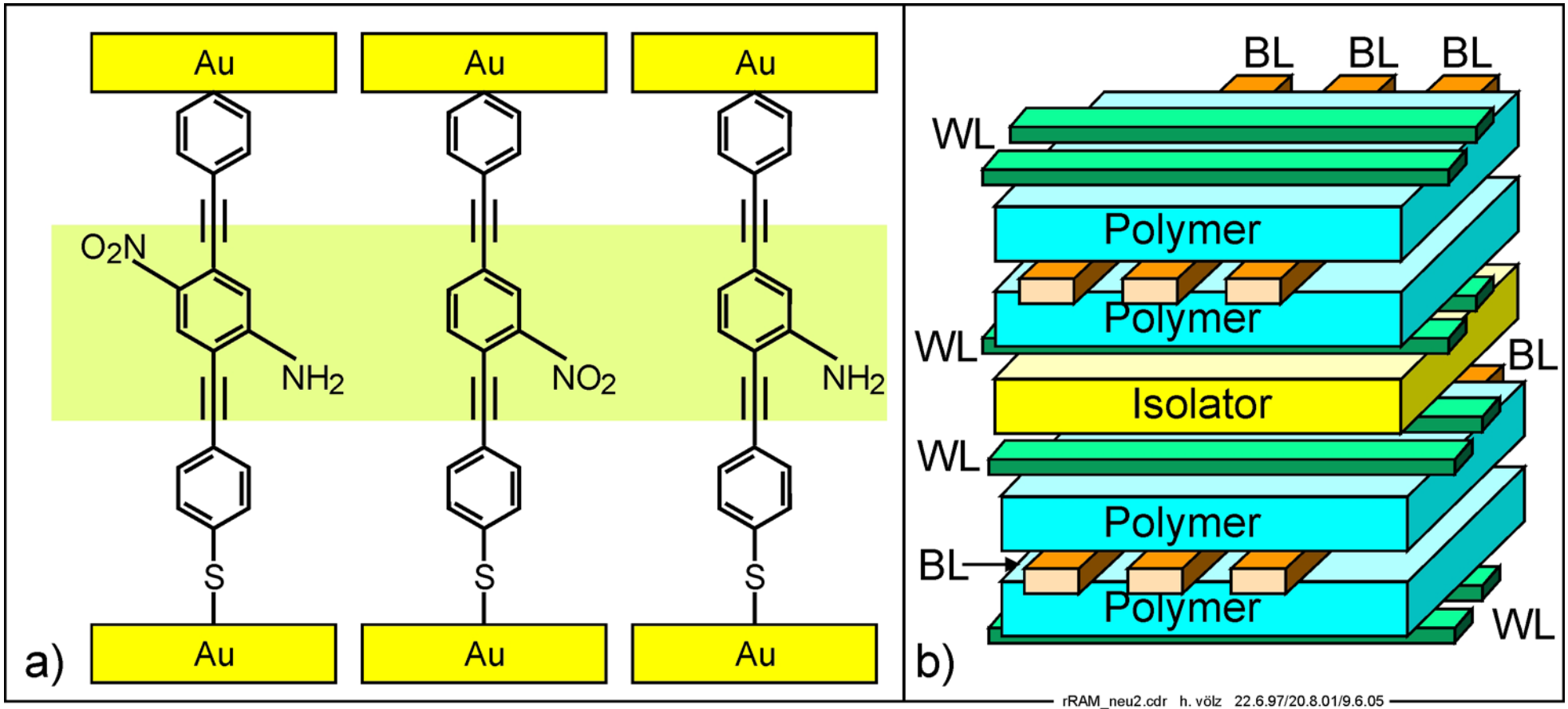
PCRAM und Ovonics

Es wird reversible Wechsel amorph ↔ kristallin benutzt, zu dem eine Änderung der elektrischen Leitfähigkeit gehört.
Bereits um 1920 wurde der Effekt am Chalkogenid MoS_2 entdeckt und erlangte mehrfach Bedeutung.
Chalkogene (*gri*. ***chalkós*** Kupfer, Bronze) gehören zur erzbildenden Elementen der 16. Gruppe (O, S, Se, Te und Po)
Chalkogenide sind deren Verbindungen mit Metallen, insbesondere Oxide, Sulfide, Selenide und Telluride.
In den 50er Jahren begannen Arbeite zu den halbleitenden Eigenschaften
Ab 1965 erlangte STANFORD OVSHINSKY (*ca. 1924) wesentliche Erkenntnisse
1965 schlägt er dann vor diese Effekte für elektronische Speicher zu nutzen.
Großtechnische Anwendungen entstanden 1990 als wiederbeschreibbare opto-motorische Speicher (CD-RW usw.)
Hierbei wird die sich ändernde optische Reflexion benutz. Amorphes Glas ist gut durchsichtig.
Kristallisiert es (Sicherheitsglas) wird es undurchsichtig (folgendes Bild unten rechts).
Heute arbeiten vor allem Ovonisc, Azalea und Intel gemeinsam intensiv zur Anwendung als elektronische Speicher.
Dabei entstanden bei den Firmen unterschiedliche Namen: **OUM** (**o**vonics **u**nified **m**emory) PCRAM, PRAM oder P-RAM (**p**hase **c**hange **R**AM) dann C-RAM (**c**halcogenide RAM), PCM (**p**rogrammable **m**emory **c**ell) usw.
Mögliche Anordnungen der Atomen bzw. Molekülen zeigt a)
Die amorphe Phase hat höherem Energieinhalt benötigt meist mehr Volumen.
Bei niedrigeren Temperaturen sind beide Zustände möglich (e). Der Phasenwechsel verläuft aber recht komplex.
Insgesamt entsteht dadurch ein hysterese-ähnlicher Verlauf,
Das Schreiben von 0/1 erfolgt daher mit unterschiedlich langen Impulsen b), c)
Einen der ersten PCRAMs gab es Anfang der 70er Jahre mit $16 \times 16 = 256$ Bit.
Bereits 2004 demonstrierte Samsung einen 64 MBit-Schaltkreis, Garantie 10 Jahren Datenerhalt selbst bei 110 °C
Weiter wurden gut 10^{14} Programmierzyklen mit Schaltzeiten um 50 ns demonstriert.
Inzwischen sind weitere gtroße Fortschritte erreicht.
in vorheriges Löschen, wie bei Flash-Speichern, ist nicht notwendig Mehr Details s. [4] S. 208 ff.


kristallin
amorph
niederohmig
"1" = Set
hochohmig
"0" = Reset
a)
Temperatur
flüssig
$T_{Keim} > T_{Fest}$
→ amorph
fest
T_{Fest}
T_{Heizen}
T_{Keim}
Zeit
b)
Temperatur
$T_{Keim} < T_{Fest}$
→ kristallin
T_{Keim}
T_{Fest}
T_{Heizen}
Zeit
c)
Energie in J
10^{-2}
10^{-4}
10^{-6}
10^{-8}
thermische Zerstörung
kristallin
amoph
Kippen zum Zustand
Impulsdauer in s
10^{-6}
10^{-3}
1
d)
Ω·cm
10^{8}
10^{6}
10^{4}
10^{2}
1
10^{-2}
Phasen-umwandlung
schnell kalt kristallin
Hysterese
fest
flüssig
langsam kalt amorph
°C
50
100
200
400
800
e)
I in mA
1,5
1
0,5
0
Lesen
amorph
kristallin
Schreiben
U_{th}
U in V
0
0,5
1
1,5
f)
PCRAMf.cdr h. völz 20.5.97/02/7.6.05

Organische RAM

Es gibt eine Vielzahl organischer Materialien, die zur Speicherung geeignet sind. Früher Überblick [9]
Leider existiert hierzu der Skandal um JAN-HENDRIK SCHÖN, der 1998 bis 2002 mehrere Publikationen in führendenr Zeitschriften fälschte und darin hervorragende Schalteigenschaften spezieller organischer Moleküle behauptete.
Ein gültiges Beispiel demonstrierte erst wieder 2003 Philips beim Tetracen-Molekül (Bild =Prinzipaufbau)



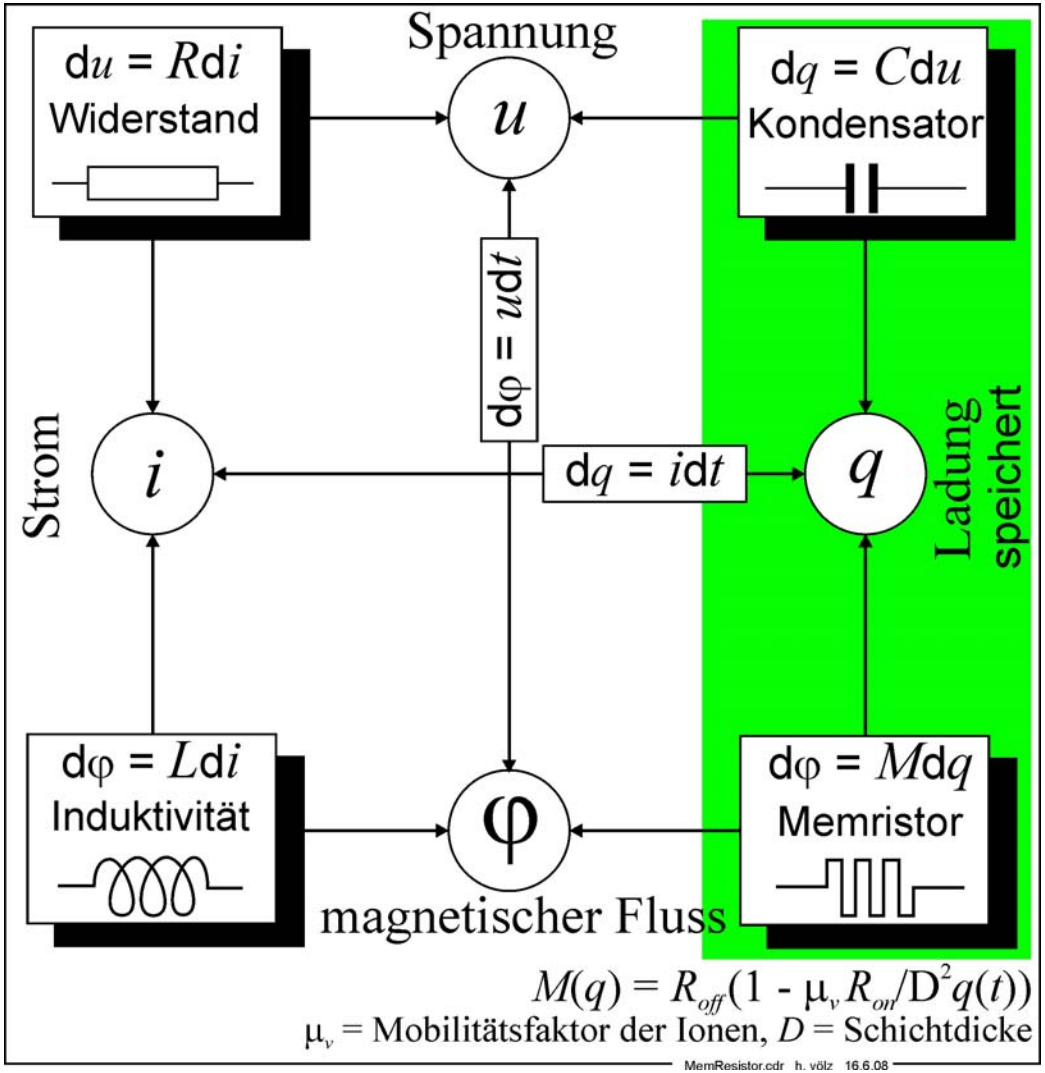
Memristor

Theoretisch ist der Memristor 1971 von LEON O. CHUA als 4. Bauelement vorausgesagt [12].

Erstmalig wurde er 2008 bei Strukturen von 150 Atomlagen TiO2-x bei Hewlett Packard nachgewiesen

HP meinte zunächst optimistisch, dass der entsprechende ReRAM (Resistive Random Access Memory) in etwa 3 Jahren den Flash ablösen könnte.

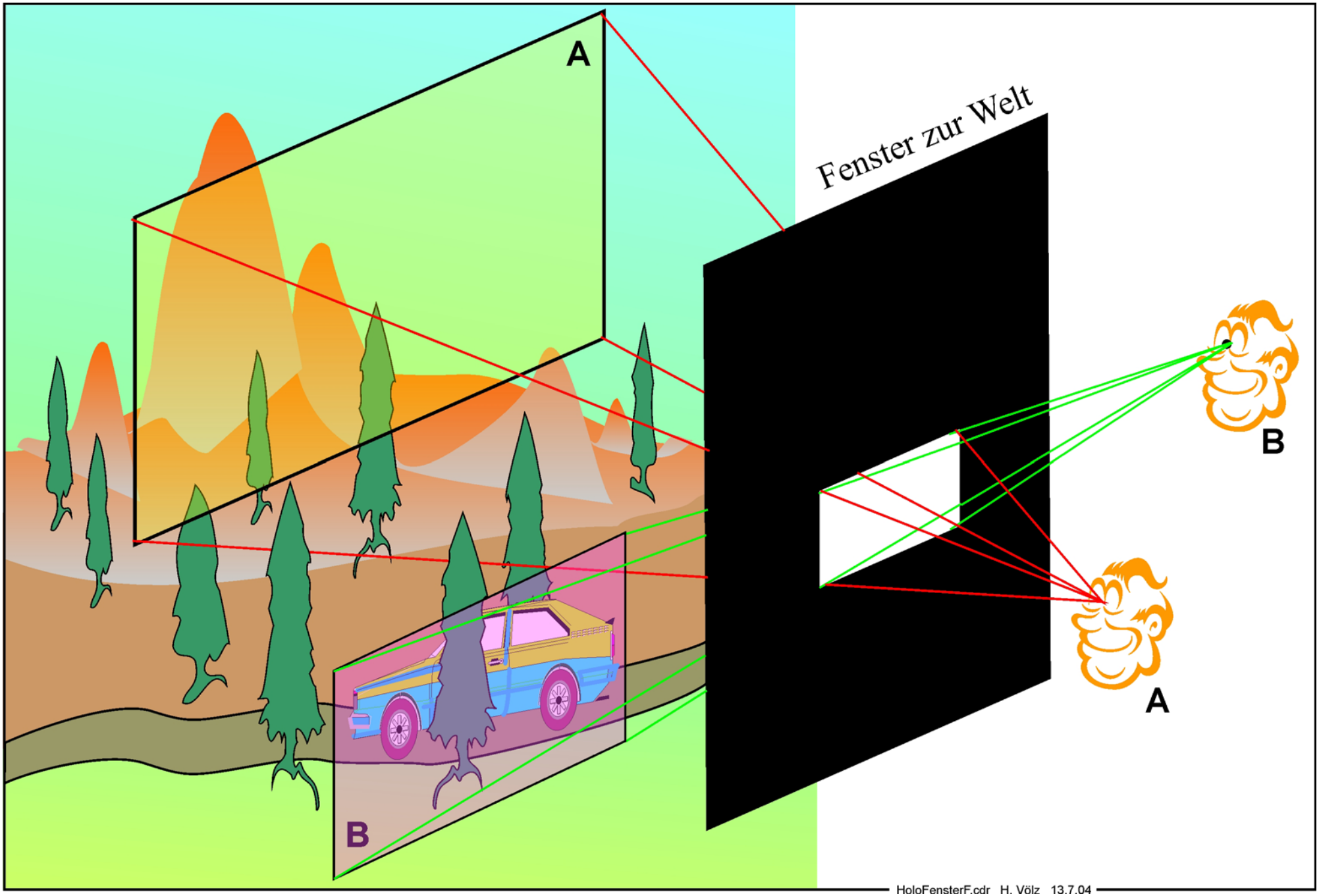
Doch seitdem ist wenig dazu bekannt geworden



Holografie

Griechisch ***holos*** ganz und ***gramma*** Geschriebenes

Dies ist die leistungsfähigste Speicherung.
Besonders einfach ist es, nur ***feststehende Daten*** zu speichern
Wenn Nachrichtensignale zu speichern sind müssen ***mehrere Zeitwerte*** zusammenhängend erfasst werden.
Bei Bildern sind zweidimensionale **x-y-Werte** festzuhalten, bei ***Videos*** zusätzlich deren ***Abfolge***.
Die ***Holografie*** bildet demgegenüber auch den ***3D-Raum korrekt*** ab.
Dadurch ist es möglich von unterschiedlichen Standpunkten anderes sonst auch Verdecktes zu sehen.
Anschaulich demonstriert die das folgende Bild mit dem Blick durch ein Fenster.
Literatur u.a. [13] bis [15].


A
Fenster zur Welt
B
B
A
HoloFensterF.cdr H. Völz 13.7.04

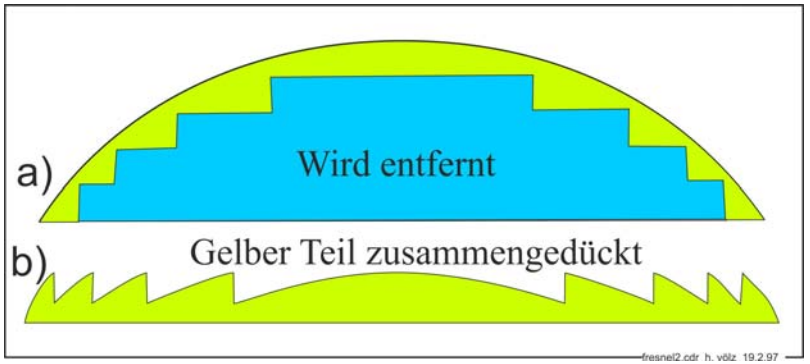
Das Prinzip

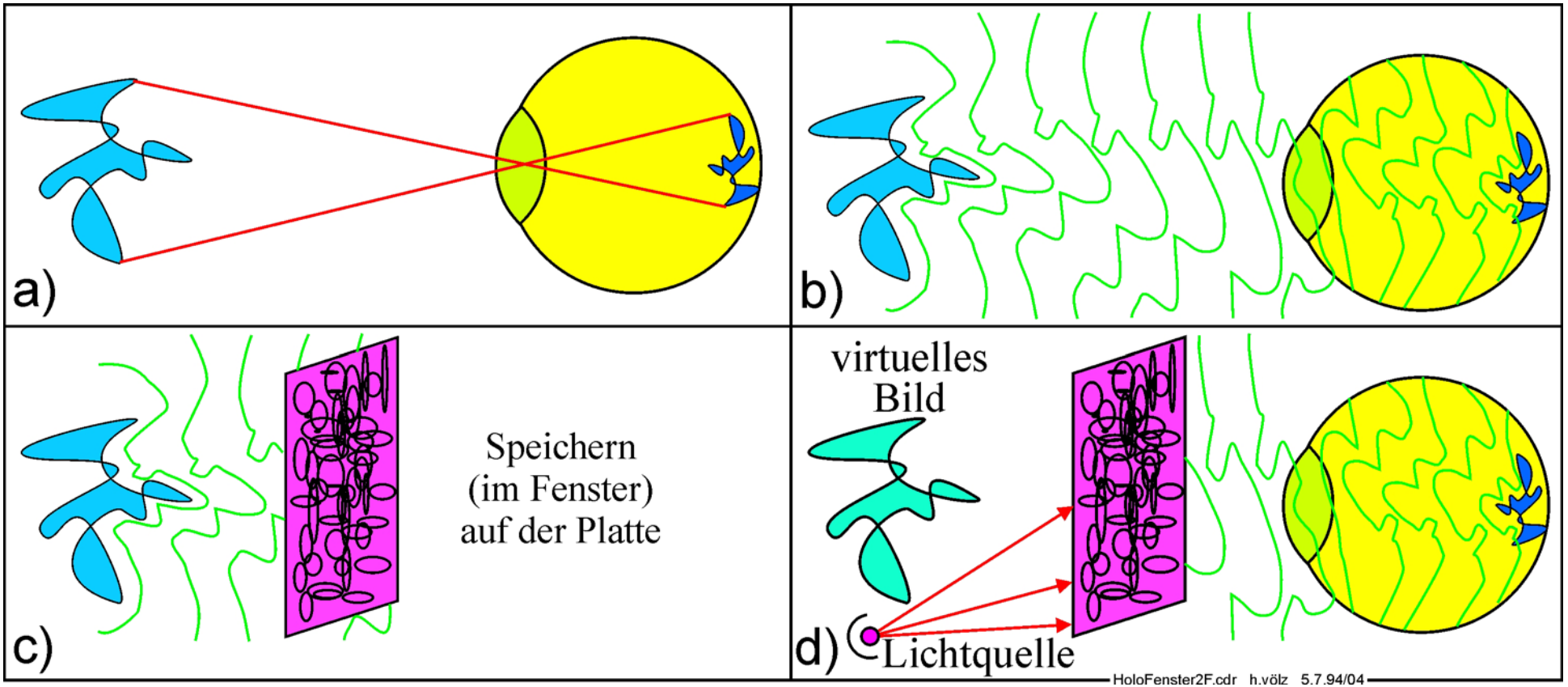
In dem Fenster müssen alle hindurchgehenden Wellenfronten gespeichert sein.
Zum Verständnis ist daher das ***Wellenmodell*** nach CHRISTIAAN HUYGENS (1629 - 1695) vorteilhaft.
Hierbei gehen von jedem leuchtenden Punkt eines Objektes Kugelwellen aus.
Alle zusammen bilden dabei eine Wellenfront.
Sie muss mit all ihren Phasen im Fenster eingefroren (gespeichert) werden.
Dann genügt eine schlichte Durchleuchtung der Aufzeichnung um das originale Bild sichtbar zu machen
Dies demonstriert das folgende Bild.
Die typischen Lichtfrequenzen liegen jedoch bei 10^{15} Hz, die Wellenlängen bei 500 nm.
So folgen leider ***zwei Probleme***:

1. Der ***Speichervorgang*** muss in extrem kurzer Zeit **<10^{-15} s** erfolgen, sonst stören Änderung der „Phase“
2. Das ***Speichermedium*** muss eine Auflösung besser als Wellenlänge besitzen
   das bedeutet ***>10 000 Linien/mm***, übliches Fotomaterial besitzt aber höchstens 100 Linien/mm

Die Folge ist, dass sonst völlig ungebräuchliche
Aufzeichnungsmethoden entwickelt werden mussten.

Ihre Grundlage bildet die ***Zonenlinse***, die deutlich von der **FRESNEL-*Linse*** (Bild rechts) unterschieden werden muss.




a)
b)
c)
Speichern
(im Fenster)
auf der Platte
virtuelles
Bild
d)
Lichtquelle
HoloFenster2F.cdr h.völz 5.7.94/04

Zonenlinse

= Basis der Holografie

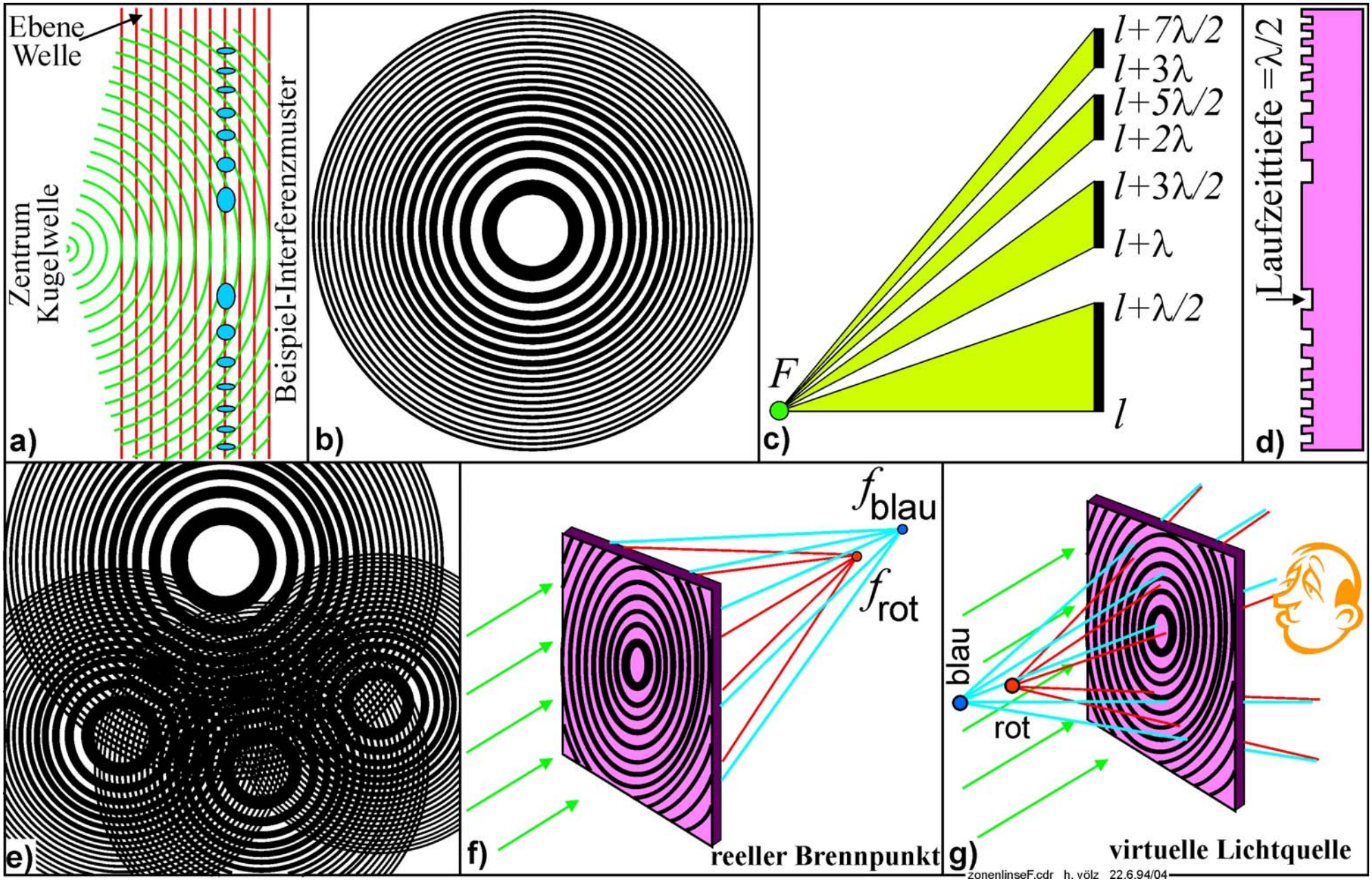
Ein einzelner Lichtpunkt erzeugt eine Kugelwelle, ein unendlich ferner eine ebenen Wellenfront (a)
Besitzen beide die gleiche Frequenz (und sind kohärent) so entstehen Interferenzen (z. B. blau).
So lange keine Änderungen bei den Lichtquellen auftreten stehen sie fest, können also gespeichert werden.
Für den „schmalen“ blauen Ausschnitt ergibt so eine ***Zonenlinse*** (schwarze Kreise b) Konstruktion c),
die auf einer sehr hoch auflösenden ***Fotoplatte festgehalten*** werden kann.

Bei mehreren Punktquellen überlagern sich die einzelnen Zonenlinsen e)
Ähnliches gilt für strahlende Oberflächen, die dann zum Hologramm aus vielen überlagerten Zonenlinsen führen e).

Eigentlich sind ***Zonenlinsen bis ins Unendliche*** ausgedehnt
Für ihre Wirkung genügen jedoch bereits die ***etwa zehn*** ersten Ringe sowie ***Teile*** der Zonenlinsen.

Eine Zonenlinse hat mehrere ***Besonderheiten***.

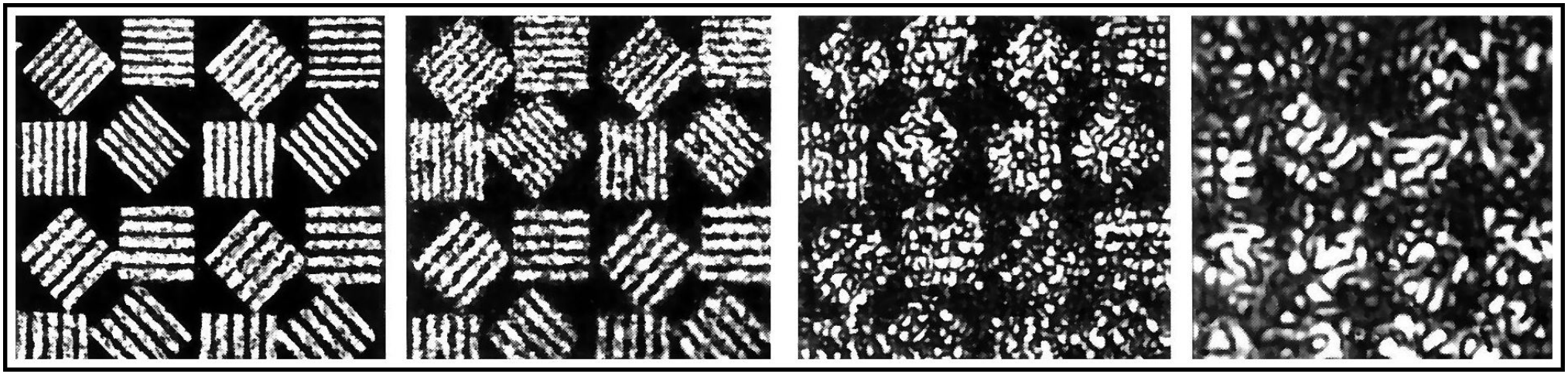
- Hinter ihr entstehen viele Brennpunkte für verschiedenen $\lambda \approx$ ***Sammellinse*** mit chromatischem Fehler f)
- Für einen Beobachter hinter der Linse wirkt sie wie eine ***Zerstreuungslinse*** g)
- Vorteil: sie ist für alle elektromagnetischen Wellen, auch RÖNTGENstrahlen geeignet (Röntgensatellit ROSA)
- Technisch sind sie ***schwer herzustellen***, Ringe durch radiale Streben verbinden
- Nachteil: nur die Hälfte des Lichtes genutzt werden kann
- Mittels Fotolithografie lassen sich Pressungen mit ***$\lambda/2$ Tiefe*** mit Lichtgewinn **herstellen** d) ≈ CD, DVD


Ebene
Welle
Zentrum
Kugelwelle
Beispiel-Interferenzmuster
a)
b)
l+7λ/2
l+3λ
l+5λ/2
l+2λ
l+3λ/2
l+λ
l+λ/2
l
F
c)
Laufzeittiefe =λ/2
d)
e)
f_blau
f_rot
f)
reeller Brennpunkt
blau
rot
g)
virtuelle Lichtquelle
zonenlinseF.cdr h. völz 22.6.94/04

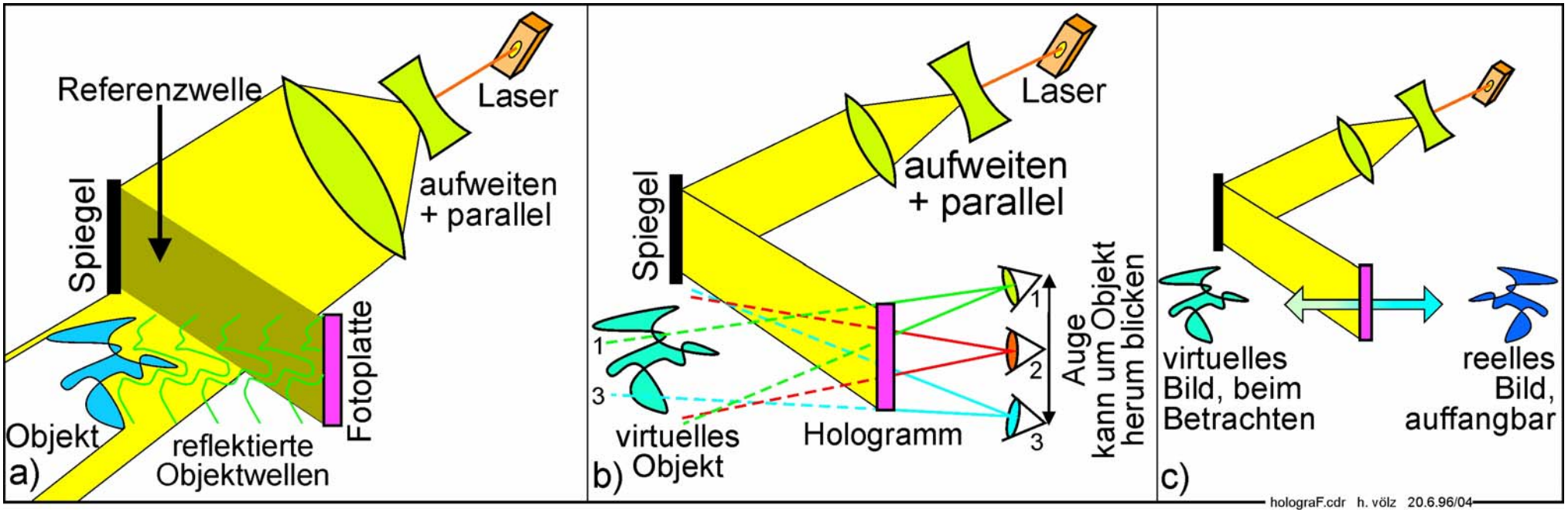
Teilbarkeit von Hologrammen

Es wir meist behauptet, dass auf jedem Bruchstück eines Hologramms das gesamte Bild enthalten ist.
Das ist jedoch bestenfalls teilweise richtig.
Je kleiner das Bruchstück ist, desto weniger st von den Zonenlinsen vorhanden.
Das hat zur Folge: Das bild wird unschärfer. Das Bild zeigt dies schematisch.

Von links nach rechts verkleinert sich die Fläche auf $^1/_4$; $^1/_{16}$ und $^1/_{100}$ des ursprünglichen linken Bildes



Funktionsbeispiel



So erfolgt die ***Aufzeichnung***:

Der Laserstrahl wird aufgeweitet. Die Referenzwelle wird mittels eines Spiegels auf die Fotoplatte gelenkt. Vom Objekt (blau) geht eine Wellenfront zur Fotoplatte und interferiert dort mit der Referenzwelle.

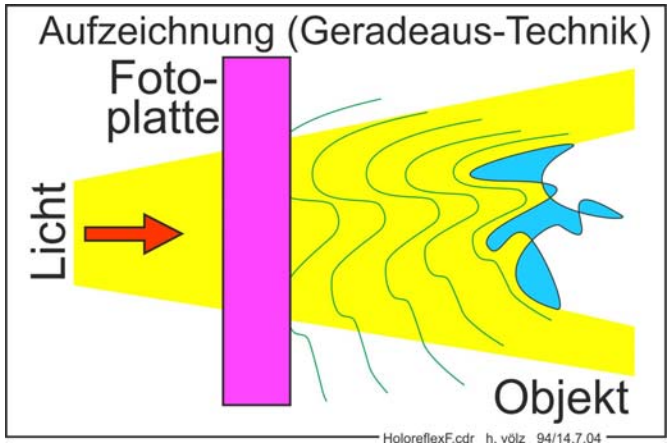
Für die ***Wiedergabe*** genügt der aufgeweitete Referenzstrahl

Der Blick auf das Hologramm kann ***von verschiedenen Standpunkten*** (genau wie bei einem Fenster) erfolgen b).

Infolge der Doppelfunktion der Zonenlinse entsteht auch ein *reelles* (auffangbares) ***Bild***, das im Prinzip zum ***Kopieren*** des Hologramms geeignet ist c)

Grenzen und Nachteile

Ab 1948 entwickelte DENNIS GÁBOR (1900 - 1979) die *Geradeaus- = In-Line-Holografie* für durchsichtige Objekte
Der Betrachter wurde dabei durch die ihm gegenüberliegende helle Laserbeleuchtung geblendet
So erfolgte später die gezeigte *Beleuchtung= Off-Axis-, Off-Line-, Seitenband-* oder *Trägerfrequenz-Holografie.*
Dabei entsteht ein **Transmissions**-Hologramm: Licht muss durch Fotoplatte hindurchgehen.
Viel später entstanden Reflex-Hologramme (Bild zeigt Aufnahmeprinzip)
Doch auch damit blieben die Grundlegenden Probleme bestehen:



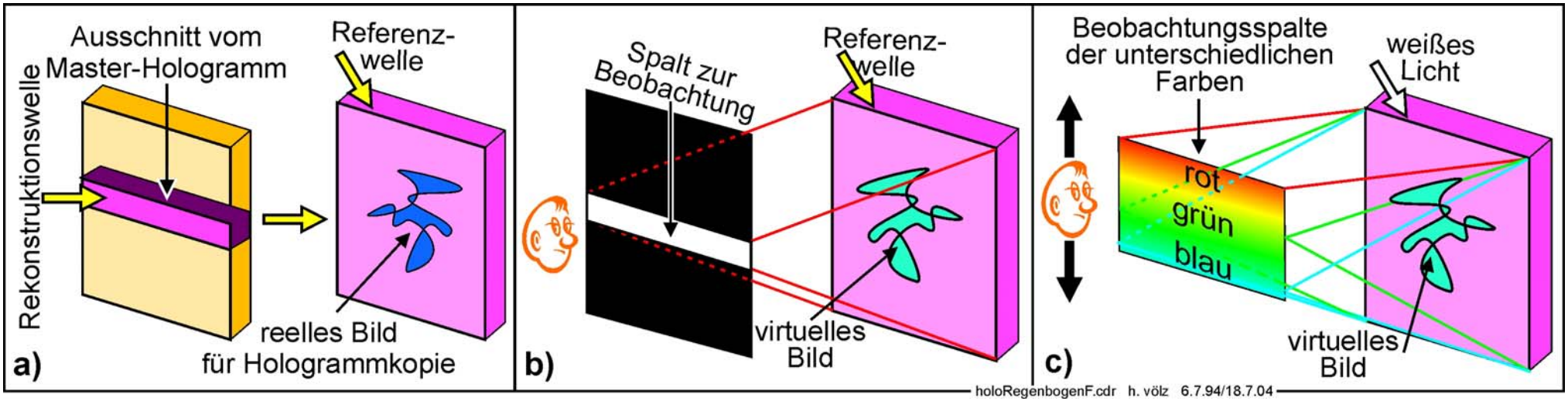
- Da die Photoplatte wegen der sehr hohen Auflösung extrem unempfindlich sind, dauert ***Belichtung Stunden***. Das erfordert extrem hohe ***mechanische*** (Keller Betonblöcke für Aufbau)***, thermische*** und Feuchte-Stabilität.
- Das Holgramm kann nur mit einem ***Laser der Aufnahmewellenlänge*** betrachtet werden. Bleibt bis zum ***Regenbogenholgramm*** erhalten (s.u.).

Nur sehr wenig günstiger sind Hologramm***kopien*** vom reellen ***Bild***.
Erst die Anwendung extrem ***dünner Fotoschichten*** ($<\lambda/4$) ermöglicht die Herstellung von Massen-Kopien
Dann ist nämlich der Übergang (gemäß Lithografie) zu ***Pressungen per λ/4-Tiefe*** mit Stempeln möglich (Sicherheit).
Ein ***Vorteil*** aller Holografie besteht darin, dass immer alles scharf abgebildet wird
Entspricht ***Schärfentiefe*** $\rightarrow \infty$, ermöglichst so Vorteile für ***Hologramm-Mikroskopie*** ($\lambda_W \leq l_A$)

Mittels mehrerer Spiegel sind Mehrfachbeleuchtungen möglich (enstsprechen besser beleuchteten Bildern)
Es lasse sich auch überlagerte ***Mehrfachbilder*** (z. T. aus verschiednen Richtungen) erzeugen.
Selbst mehrfarbige Hologramme durch Beleuchtung mit Lasern verschiedener Wellenlänge sind möglich.
Darüber hinaus gibt es viele ***technische Anwendungen*** (s.u.)***.***

Regenbogen-Hologramm

1969 entstand durch STEVE BENTON eine Wiedergabe Variante für gewöhliches Licht.
Vom vollständigen Hologramm wird durch einen Spalt nur ein ***schmaler horizontaler Streifen*** ausgewählt
Die optimale Streifenbreite für Masterhologramm sollte der mittlerer Pupillenöffnung (≈4 mm) entsprechen.
Von ihm wird jedoch eine ***„ganzflächige“ Kopie*** angefertigt.
Das ***sichtbare Bild*** entspricht dann auch nur diesem schmalen Streifen
Das Original kann daher nur ***unterschiedlich seitlich*** (aber nicht aus unterschiedlicher Höhe) betrachtet werden
Von ihm geht also die durch den Standpunkt auswählbare ***„Höhen“-Informationen verloren.***
Der große ***Vorteil*** besteht jedoch darin, dass die Hologrammkopie ***mit Tageslicht*** betrachtet werden kann.
Aber: aus verschiedenen Höhen erscheint das virtuelles Bild erscheint unterschiedlich ***farbig (Regenbogen)***
Daher der Name Regenbogen-Hologramm



Zusätzliche Anwendungen

Messtechnik: durch *Mehrfachbelichtungen* u.a. ***Nachweis*** von µm-Änderungen:
Abnutzung, Druck-Zug Belastungen usw. = *Hologramm-Interferometrie*
Zeichenerkennung: Auf Kleinst-Hologramm sei z. B. Buchstabe E gespeichert,
Text wird abgebildet und mit Kleinst-Hologramm als Filter betrachte
Es werden dann alle Orte deutlich hervorgehoben, wo ein E steht
Größe oder Drehung des jeweiligen E sind unwesentlich
Schriftfont geht ein: ähnliche Zeichen, wie *E*, **E**, E, *E*, E, usw. werden etwas weniger hervorgehoben
Teilweise werden auch F, L, Σ, Γ, Z, [, T, ⊥ usw. etwas sichtbar
Großer Vorteil bei ***Suche nach komplexen Strukturen und Gebilden***
Schallanalyse: bei Ultraschall überlagert sich Referenzwelle mit Reflexion vom Objekt
Entstehenden Schalldruckknoten werden mit einem bewegten Mikrophon gescannt, aufgezeichnet
Es ergibt sich ein „Hologramm“, das optisch betrachtet werden kann, Aussagen über Schallquellen
Synthetische Hologramme z. B. für Röntgenstrahlen, Mikrowellen usw.

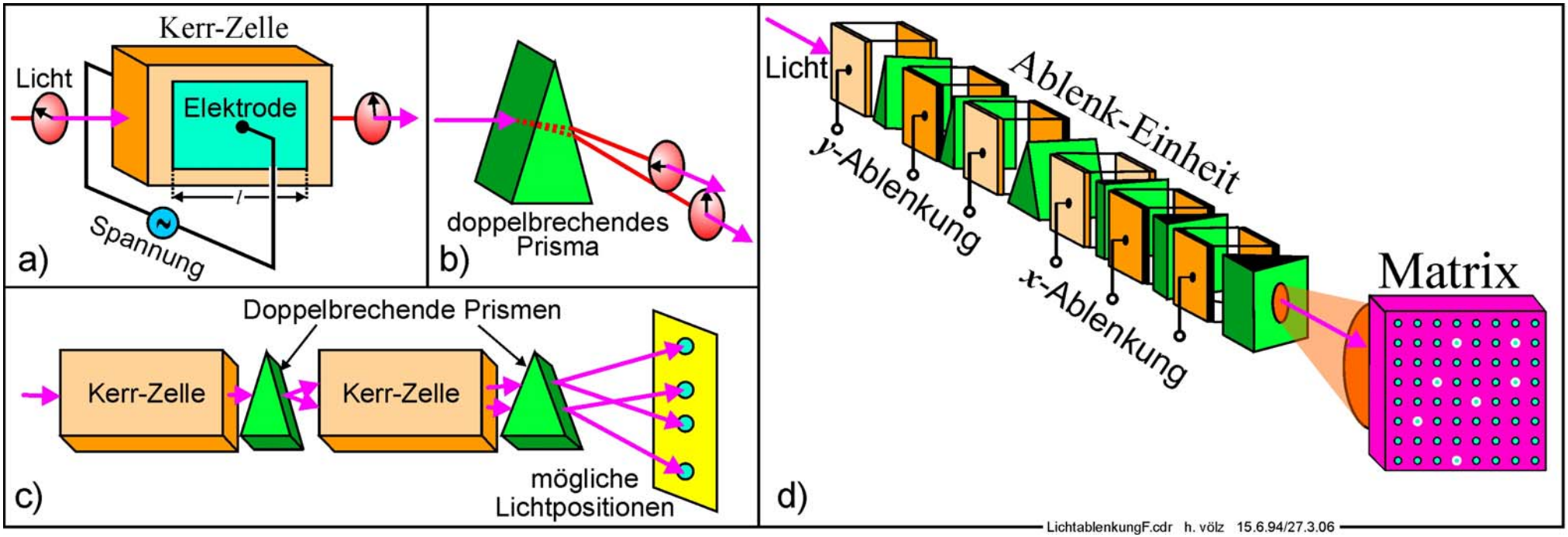
Holografisch-optische Elemente (HOE) sind keine eigentlichen Hologramme
Beeinflussen Lichtstrahlen auf ungewöhnliche Weise, z. B. Linsen mit chromatischer Korrektur

Holografische Datenspeicher

Seit den 60er Jahren bekannt: etwa 3 Forschungsinstitute entwickeln Technik weiter
Hologramme erlauben extrem hohe Speicherdichte, -kapazität und Datenrate
Wichtig sind diskrete Lichtablenkungen.
Eine variable Lichtablenkung erfolgt durch ***Drehung der Polarisationsebene*** und ***anisotrope Prismen***
1875 **KERR-*Zelle*** von JOHN KERR (1824 – 1907) elektrisches Feld dreht Polarisations-Ebene
Anisotropes Prisma lenkt Strahl je nach Polarisation in unterschiedliche Richtung ab
Großer Austritts-Unterschied von ***ordentlichem ⇔ außerordentlichem Strahl***
Durch Kombination von ***n* KERR-Zellen** und ***n* Prismen** lassen sich so $\mathbf{2^n}$ **Positionen** ansteuern
Im Labor mit 2×10 Baugruppen 2^{20} = ***1 048 576 diskrete Positionen*** (*x*-, *y*-Richtung)
An jedem Ort sind mehrere Hologramme aufzuzeichnen, Richtung und Wellenlänge kann geändert werden.
Typische Labordaten:

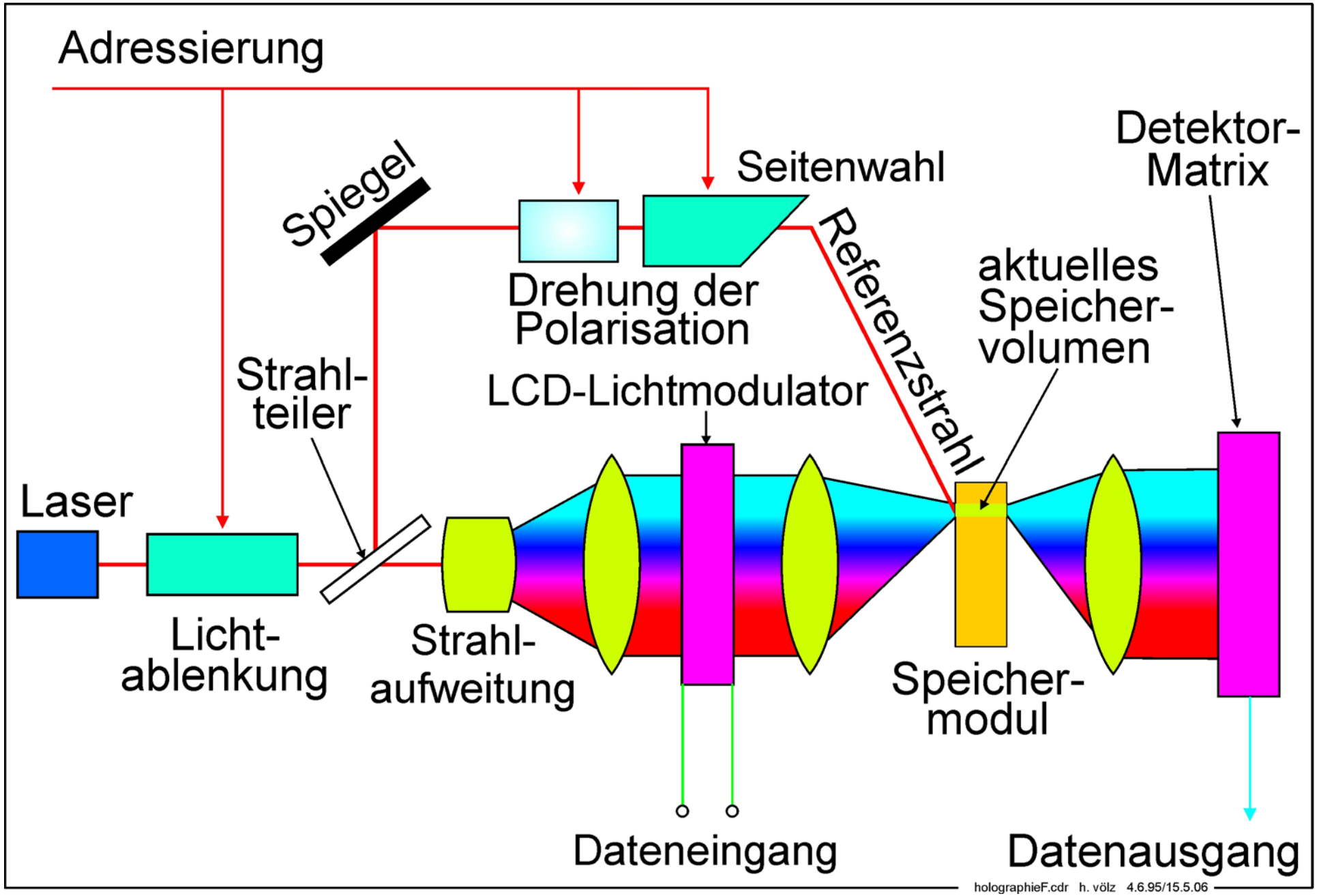
10^6 Speicherorte, 10^6 Pixel, 10^3 Winkel ≈ 10^{15} Bit ≈ 100 TByte auf einem 1 cm^3 auswechselbaren Würfel
Datenrate bei 10^{12} Bit/s = 1 TBit/s

Probleme bestehen hauptsächlich immer noch im geeigneten Speichermaterial



Die KERR-Zelle dreht proportional zur Spannung die Richtung der Polarisation
Das doppelbrechende Prisma lenkt den Lichtstrahl je nach Polarisation unterschiedlich ab
Durch Reihenschaltung beider Bauteile werden verschiedene diskrete Orte erreicht
3 + 3 Einheiten ermöglichen $2^3 \times 2^3 = 8 \times 8 = 64$ diskrete Orte anzusteuern

Den typischen Aufbau eines solchen Speichers zeigt das nächste Bild.

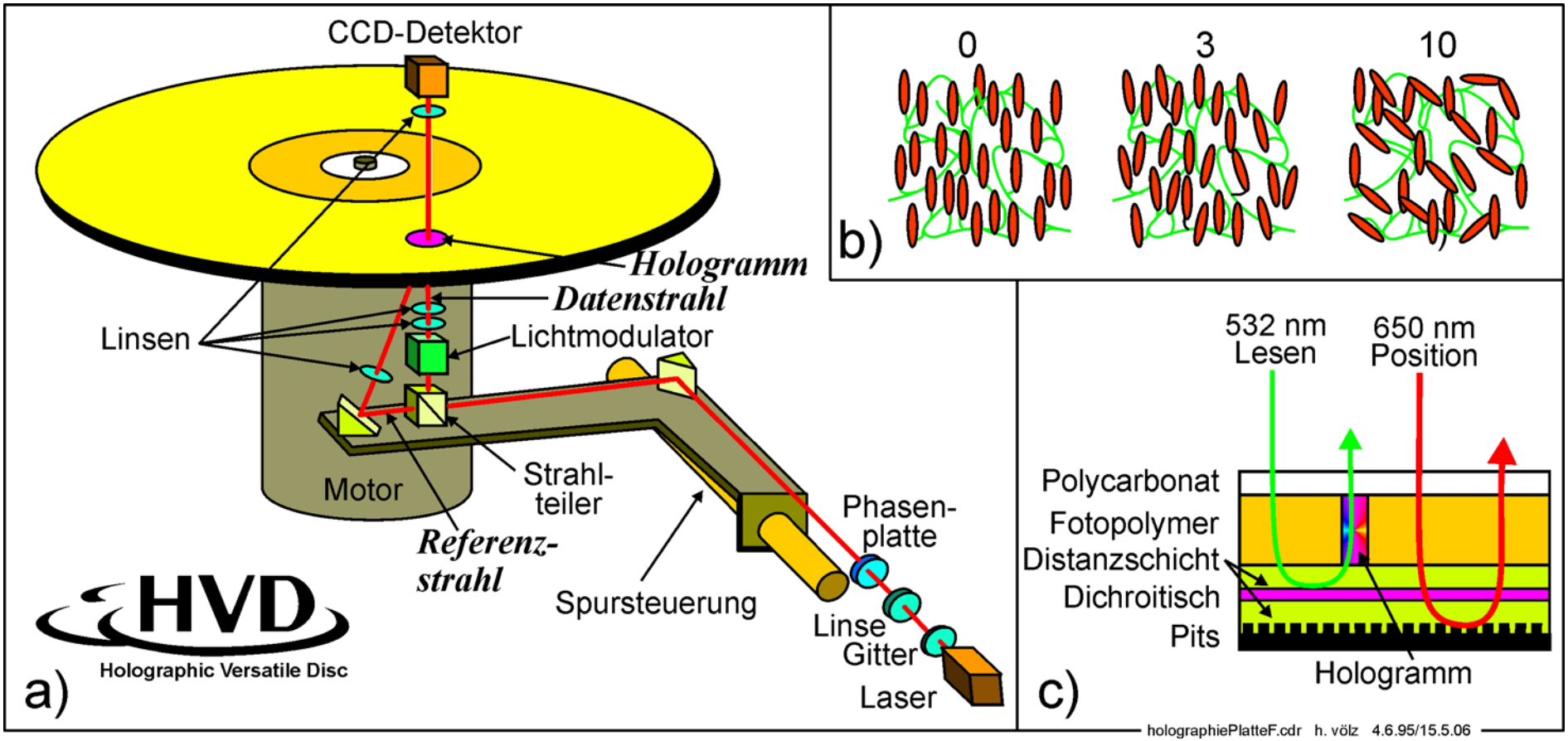

Adressierung
Spiegel
Seitenwahl
Detektor-
Matrix
Drehung der
Polarisation
Referenzstrahl
aktuelles
Speicher-
volumen
Strahl-
teiler
LCD-Lichtmodulator
Laser
Licht-
ablenkung
Strahl-
aufweitung
Speicher-
modul
Dateneingang
Datenausgang
holographieF.cdr h. völz 4.6.95/15.5.06

HVD (holographic versatile disc)

Erste Spezifikationen 2004. Weitere Firmen schlossen sich 2005 an
Wegen vieler holographischer Aktivitäten wurde 2004 die Industrievereinigung **ECMA-** ***Komitee*** gegründet
U. a. Canon, Fujitsu, IBM, Intel, Microsoft, Panasonic, Sony und Toshiba.

Speichermaterial

(wahrscheinlich) ***Kunststoff*** der ***Bayer-Material-Science AG***, liegt seit Ende der 90er Jahre vor
Er besteht aus zigarren-artigen Molekülen, die durch „Bänder“ verbunden sind
Gelöscht sind alle „Zigarren“ gleich ausgerichtet
Aufzeichnung: Laser-Erwärmung, Moleküle nehmen immer stärker statistische Ausrichtungen an
Wiedergabe: je nach Molekülrichtungen, linear polarisiertes Licht absorbiert ermöglicht ≥64 Graustufen
Platte ∅ = 120 mm, Kapazität ≈ 4 TByte, Transferrate ≈ 1 GBit/s, schrittschaltend
Blau-grüner Schreib-Lese-Laser (532 nm) + ***roter*** Positionierungs- = Adressierungs-Laser (650 nm)
Blau-grüner Strahl für Hologramm aus gleicher Richtung auf die Polymer-Schicht.
Darunter liegende ***dichroitische Schicht*** reflektiert gut blau-grünes Licht, lässt rotes passieren
Rotes Licht gelangt zu den ***tiefer liegende Pits*** (Al) mit Sektor-, Kopf- und Segment-Informationen
Ruckartige Positionswahl ermöglicht schnelle Adressierung (keine kontinuierliche Drehung).
Information mit ***Digital Mirror Device*** (DMD), ähnlich den DLP-Projektoren aufzeichnen
Technik sollte 2007 marktreif sein, Recorder ≈10 000 $, Leselaufwerke ≈2 000 $. Platten ≈150 $
Aktueller Stand unbekannt.


CCD-Detektor
Hologramm
Datenstrahl
Linsen
Lichtmodulator
Motor
Strahl-
teiler
Referenz-
strahl
Spursteuerung
Phasen-
platte
Linse
Gitter
Laser
HVD
Holographic Versatile Disc
a)
0
3
10
b)
532 nm
Lesen
650 nm
Position
Polycarbonat
Fotopolymer
Distanzschicht
Dichroitisch
Pits
Hologramm
c)
holographiePlatteF.cdr h. völz 4.6.95/15.5.06

Geschichte der Holografie

Die Geschichte der Holografie ist wesentlich durch die Entwicklung des Lasers bestimmt
Daher dauerte es ca. 15 Jahre, bis die Ideen von Gábor praktisch nutzbar wurden
Bis zur ersten Massenherstellung vergingen sogar fast 40 Jahre
Zur ersten Nutzung in der elektronischen Speichertechnik vergingen weitere 30 Jahre

1948 Ungar DENNIS GÁBOR (1900 - 1979) entwickelt in den USA die Idee der Holografie
1954 NH_3-Laser von BASOV und PROCHOROV
1960 Rubinlaser von THEODORE H. MAIMAN
1961 YURI DENISYUK experimentiert mit Weißlicht-Reflex-Volumenhologrammen
1962 GaAs-Injection-Laser von R.N. HALL und unabhängig von M. I. NATHAN
1963 PIETER J. VAN HEERDEN schlägt dreidimensionalen holographischen Speicher vor
1963 erste öffentliche Hologrammvorführung von E. N. LEITH und J. UPATNIEKS
1969 STEVE BENTON erfindet das Regenbogen-Hologramm
1970 ca. erste Versuche zur digital-holografischen Speicherung
1973 JAN RAJCHMANN demonstriert einen holographischen Speicher für Rechner
1984 $11 \cdot 10^6$ Exemplare, Märzheft der „Geograhic“, Hologramm vom Adler von 11×11 cm^2
1992 Softwarepiraten benutzen das Hologramm von Microsoft
2006 Beginn der **HVD (**holographic versatile disc) durch InPhase mit Bayer-Medium

Was ist wozu dauerhaft zu speichern

Rein technisch kann heute ***alles gespeichert werden,*** was auf der Welt elektronisch geschieht
Die Daten-Menge wird aber so groß, dass auf Gesuchtes ***kaum noch ein gezielter Zugriff*** möglich ist
Hinzu kommt eine ***Vielfachspeicherung*** durch Sammler, Wirtschaft, Politik, Geheimdienste usw.
Daher müssen ***Kriterien für Einschränkungen*** gefunden werden
Die Einführung eines ***Verfallsdatums*** dürfte nur in Sonderfällen sinnvoll sein
Wichtiger erscheinen mir ***Unterscheidungen*** nach Inhalt, Sachbezuge usw.:

- Für **wen**: individuell, bestimmte Gruppen oder allgemein
- **Wofür**: u. a. Utility, Anwendbarkeit usw.
- Für **Kultur** und **Geschichte**: Originale der Kunst, Menschenbild, Religion usw. ***Kultur*** und ***Bildung*** sollte weitgehend ***kostenfrei verfügbar sei.*** Neue Regelungen zum ***Urheberrecht*** erforderlich.
- Für die **Menschheit**: je nach Notwendigkeit bzgl. Nutzen ⇔ Schaden. **Schädliches, Destruktives** müsste mehr ***moralisch*** als gesetzlich unbrauchbar verboten sein. ***Geheimhaltung*** sollte weitgehend ***verboten sein*** (s.o. Kryptografie)
- Speicherung in einem (mehreren) **Welt-Archiv** als ***Weltwissen on demand.***

Mögliche Eingrenzungen, Beschränkungen

Lehrbücher, Lexika, Publikationen usw.: eingeschränkter, stets aktuell zu haltender Anteil (***Didaktik***)
Rundfunk, Fernsehen. Journalismus usw.: wichtige Zeitdokumente und (Eigen-) Produktionen
Historiker: Original-Dokumente, auch wenn sie leider ständig neu interpretiert werden.
Museen, Archive, Bibliotheken usw.: typische Originale in geringer Anzahl
Archäologie: kulturhistorische Inhalte, Denkmale

Inhalt der Information	Art der Information	Umgang für die Speicherung
Historisch	Originale	Dauerhaft aufheben
Kulturell, künstlerisch	Menschliche Werte betreffend	Ausgewählte Originale allgemein verfügbar aufheben
Utilitär, technisch, wissenschaftlich	Wissen, Fakten, Gesetze, Methoden	Ständig aktualisieren
Didaktisch	Darstellungsform, gut lehrbar	Besseres ersetzt Älteres
Geheimhaltung	Fakten, Geschehen	falls überhaupt notwendig, dann zeitliche Begrenzung
Destruktiv, zerstörerisch	Wissen, Methoden	moralische Verurteilung (Strafen?)

Speicher der Evolution

Weit vor den vom Menschen geschaffenen technischen Speichern, hat die ***Welt eigene Speicher geschaffen***
Gerade weil sie ohne zutun des Menschen entstanden zeigen sie besonders deutlich die Wichtigkeit der Speicherung.

Beim Urknall bestand die Realität nur aus ***Energie***; dann entstanden die Grundsteine der Materie.
Daraus Elektronen, Protronen, Neutronen, Atome, chemische Elemente, Moleküle, Sterne, Erde, Galaxien usw.
In ihnen, besser durch sie, sind viele ***Kennwerte und Gesetze der Realität*** festgelegt, also quasi gespeichert [6] 59ff..

Deutlich später entwickelte sich das ***Leben***, also die Biologie: u. a. Genetik und Neuroanatomie.
Auf die ***genetische Speicherung*** wird im Folgenden nur sehr kurz eingegangen, vor allem wegen des Codes.
Für die Medien besitzt sie nämlich nur sehr geringe Bedeutung [6] S. 167 ff.
Ausführlich wird er die ***neuronale Speicherung*** behandelt, gehört zu ihr doch ***unser Gedächtnis*** [6] 247 ff.

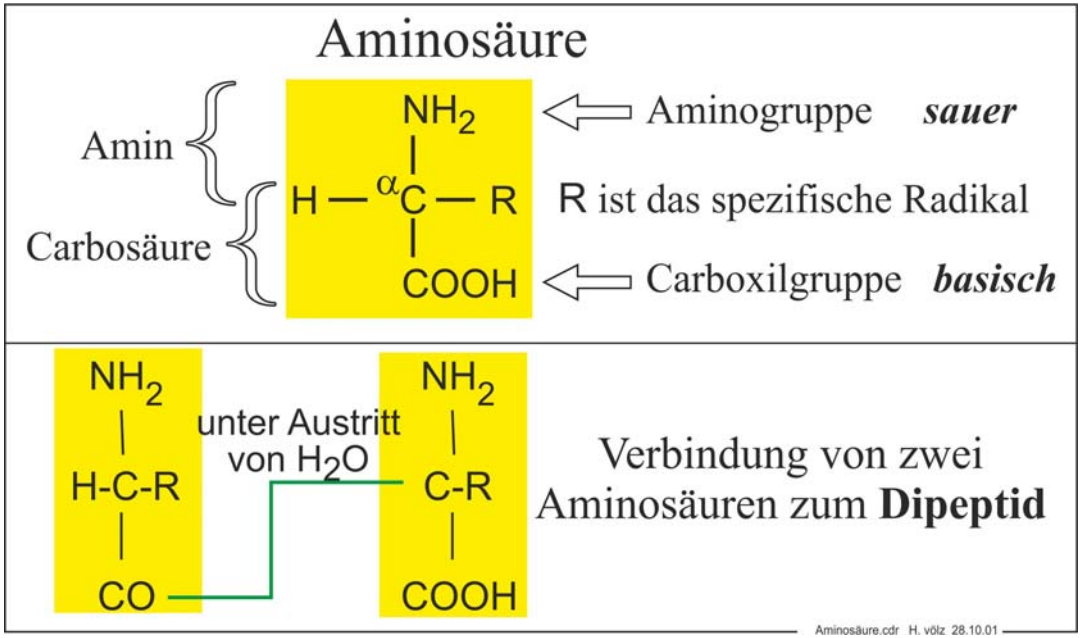
Insgesamt gilt der folgende ***zeitliche Überblick,*** auch egotrop, hormonell werden weiter nicht behandelt [6] S. 201 ff.:

Art	Wo fixiert, gespeichert	Aufgabe, Zweck (Ziel)	Jahre
physik.-chem.	Materie, Teilchen, Moleküle	geschieht unmittelbar?	$1{,}5 \cdot 10^{10}$
egotrop	unbekannt, z. T. Immunsystem (später im Knochenmark)	Unterscheidung von ***Ich und Fremd***, Nutzen und Schaden, Systeme entstehen.	$>3 \cdot 10^{9}$
genetisch	DNS-Sequenzen, Chromosomen	Erhaltung der Art, des individuellen Lebens	$3 \cdot 10^{9}$
neuronal	Neuronen + Synapsen	anpassendes Verhalten, Lernen	$5 \cdot 10^{8}$
kollektiv	verteilt über viele Individuen	gemeinsame Tätigkeit / Arbeit	$5 \cdot 10^{7}$
technisch	Speicher-Material (Werkzeug)	Erhalt von Wissen außerhalb des Menschen	$5 \cdot 10^{4}$

Leben

Die typischen Eigenschaften von Leben sind sehr schwer zu definieren
Das wird besonders deutlich bei den Auseinandersetzungen zu außerirdischen Leben
Zwei typischen Fakten sind seine Aktivitität in der Welt und seine Fortpflanzung.
Irdische Lebewesen bestehen aus vielen Stoffen, die meist in Kohlehydrate, Fette und Eiweiße eingeteilt werden.
Dabei sind die *Kohlehydrate* und *Fette* vor allem Energieträger.
Darüber hinaus besitzen sie bei einigen Strukturen, z. B. den Membranen Bedeutung.
Die *Eiweiße* (Proteine, sprich: Pro-te-ine) sind dagegen für das Leben fundamental.
Sie steuern und realisieren fast alle Funktionsabläufe der Zelle.
Zur Beschleunigung von Reaktion wirken sie auch als Enzyme. ähnlich den chemischen Katalysatoren.
Entscheidend sind sie am Aufbau von Strukturen beteiligt. Ihre Reaktionen laufen im Fließgleichgewicht ab

Alle Proteine setzen sich aus verschiedenen ***Aminosäuren*** (auch Peptide genannt) zusammen.
Alle Lebewesen verwenden genau ***20 Aminosäuren***, die durch unterschiedliche ***Radikale*** R gekennzeichnet (nächstes Bild).
Infolge ihrer räumlichen Struktur gibt es (polarisiertes Licht) die ***links-*** (stark bevorgte) und ***rechtsdrehende*** Varianten.
Aminosäuren können sich zu Di-, Tri-, Poly- und Makropeptide verbinden. Auf diese Weise entstehen ***Proteine*** als ***lange Ketten*** bis 10 000 Aminosäuren.



Proteine

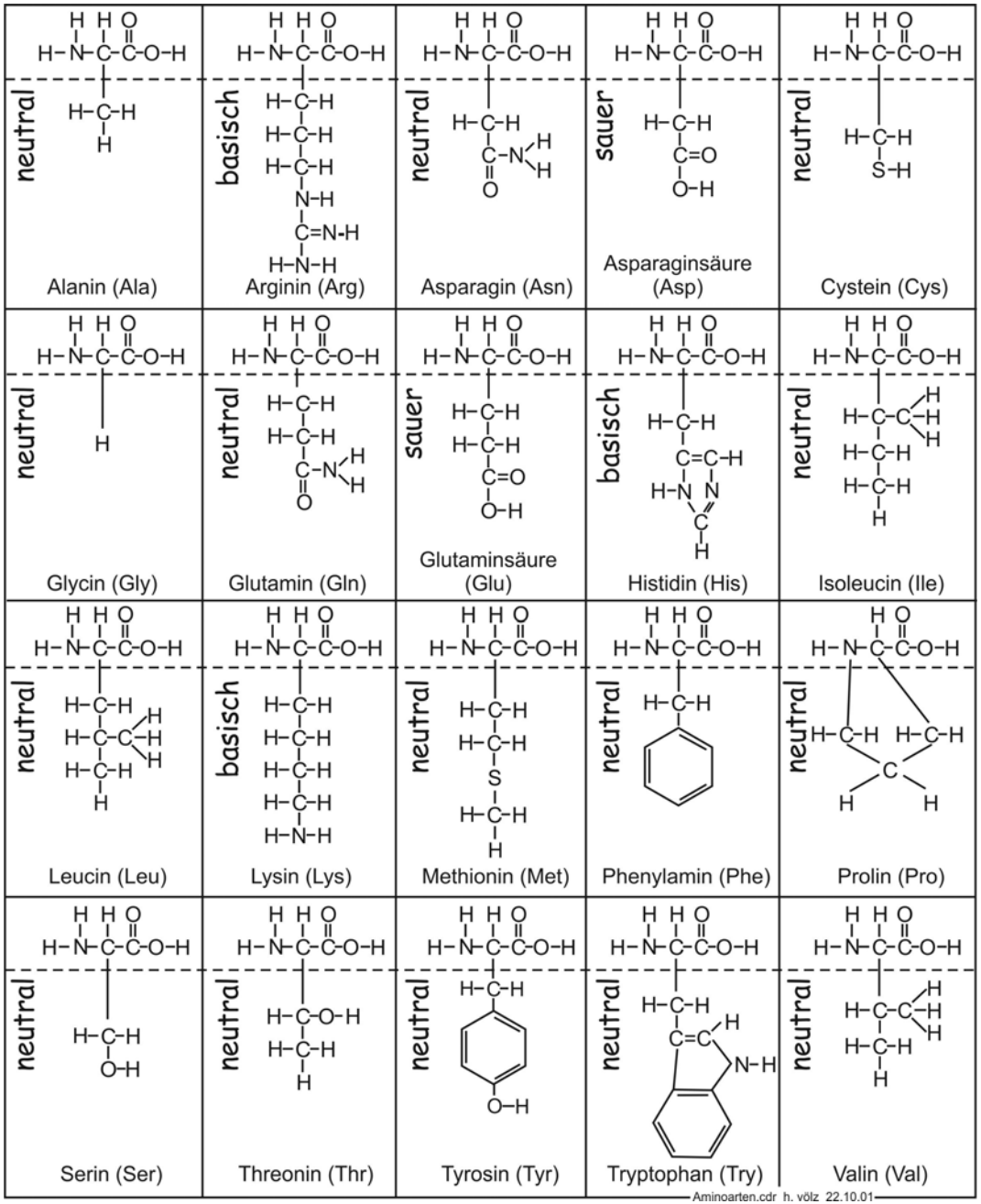
Die ***Reihenfolge*** der ausgewählten Aminosäuren bestimmt das ***jeweilige Protein***.

Es kann sich in unterschiedlichen ***Sekundär- bis Quartier-Strukturen*** falten.

Viele dieser Strukturen können sich ***dynamisch verändern*** und so auf bestimmte Weise aktiv werden.

Diese Aktivitäten sind oft für das Leben wesentlich, Z. B. als ***Enzyme***. Sie können jedoch durch externe Einflüsse leicht zerstört werden (z. B. bei gekochten Fleisch).

Proteine müssen vom Leben ***immer wieder neu erzeugt werden***. Dazu bedarf einer ***Kodierung*** der Abfolge der Aminosären.
Genau dies macht den ***genetischen Code*** wichtig.



Biologische Zelle

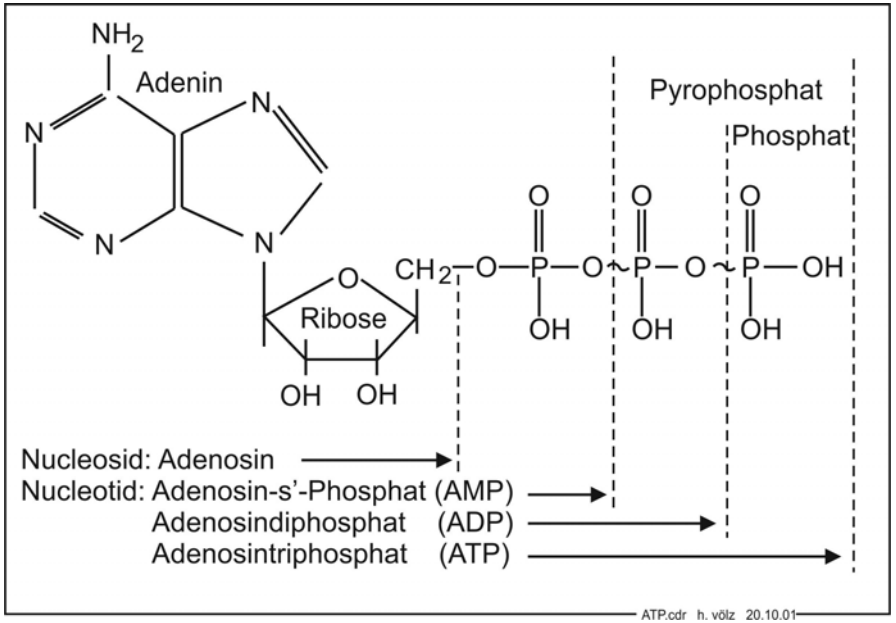
Alles Leben geht auf *Zellen* zurück. Sie fand 1670 ANTON VAN LEEUWENHOOK (1632 - 1723) mit Hilfe seines Mikroskops, das 300-fache Vergrößerung ermöglichte.
Nur relativ wenige Lebewesen, u. a. Phagen und Bakterien bestehen aus einer Zelle.
Dies sind die Einzeller, die höchstwahrscheinlich den Anfang der biologischen Entwicklung auf der Erde bildeten.
Es gibt ca. 4 10^5 Pflanzen- und reichlich 10^5 Tier-Arten, die aus etwa 10^5 bis 10^{17} Zellen bestehen.
Die Zell-Größe reicht von etwa 0,2 µm (Einzeller) bis zu einige cm, typisch für Pflanzen, Tiere sind 10 bis 100 µm/
Trotz des großen Formenreichtums ist das Leben nach erstaunlich sehr wenigen Grundprinzipien organisiert:

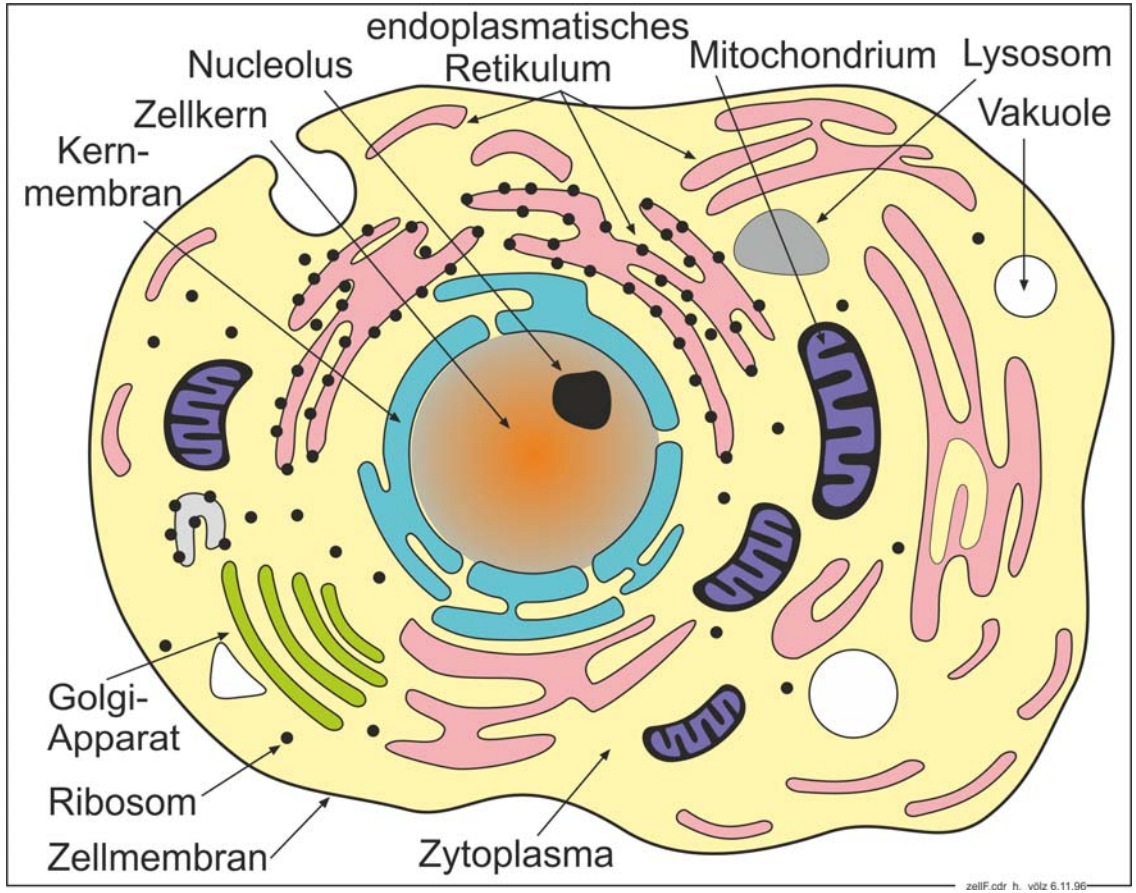
- Entwicklung jedes Individuums aus nur einer ***einzelnen Zelle***, z. B. Ei oder Samen.
- Einheitliche ***genetische Codierung*** fast aller Lebensfunktionen und -strukturen.
- Vollständige genetische ***Speicherung in jeder Zelle*** des Lebewesens.

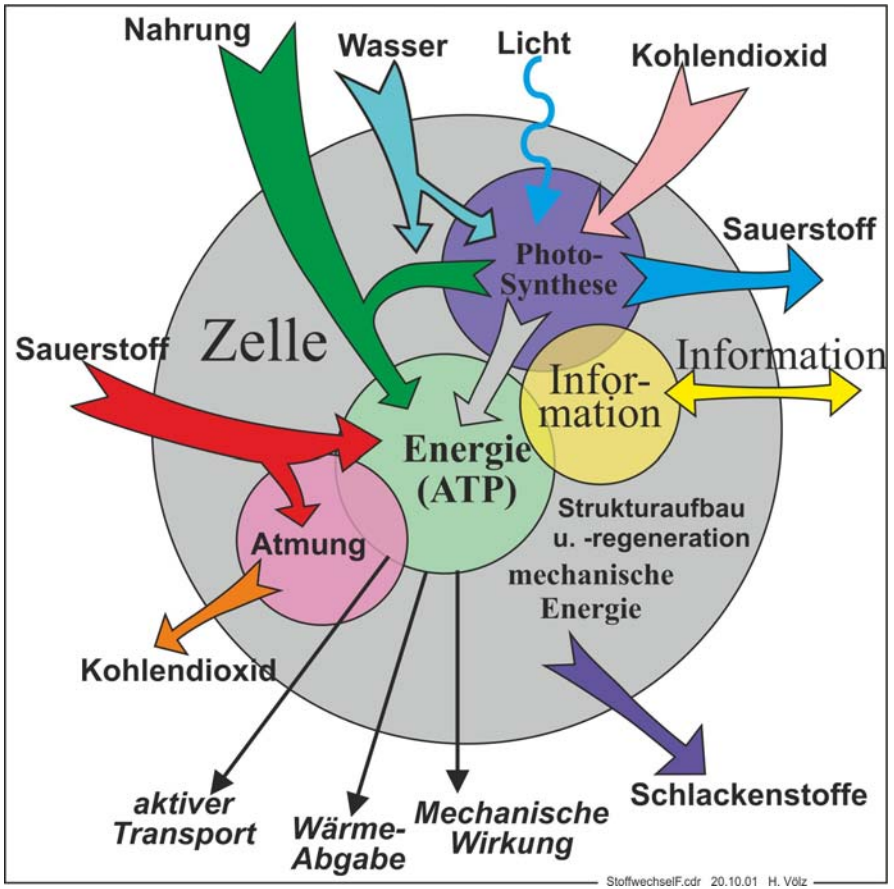
Eine typische biologische Zelle (nächstes Bild links) besteht aus folgenden ***Einheiten***

- ***Zellkern***, durch eine besondere Membran geschützt.
- ***Endoplasmatisches Retikulum***. Auf dem bevorzugt die ***Ribosomen*** als 'Werkbänke der Zelle' befinden
- ***Mitochondrien*** zur Erzeugung der Energie für die Zelle, das **ATP** (s. rechts).
- **Golgi-Apparat** vorwiegend zur Produktion von Sekreten

Die verschiedenen ***Funktionen einer Zelle*** fasst das folgende Bild (rechts) zusammen.







Die ***Photosynthese*** zur Energieerzeugung kommt praktisch nur bei Pflanzen vor.
Es fällt auf, dass hier nicht die zwei bis über hundert ***Chromosomen,*** die Träger der Erbinformation sind, vorkommen.
Sie sind werden jedoch nur in zeitliche Umgebung der ***Teilung von Zellen*** sichtbar.
Ansonsten sind sie nur mehr oder weniger in ihre nutzbaren ***DNS-Stränge*** aufgelöst.
Dabei erfolgt die „***Nutzung***“ (Wiedergabe- Kopierung) der vorhandenen (gespeicherten) ***Erbinformation.***

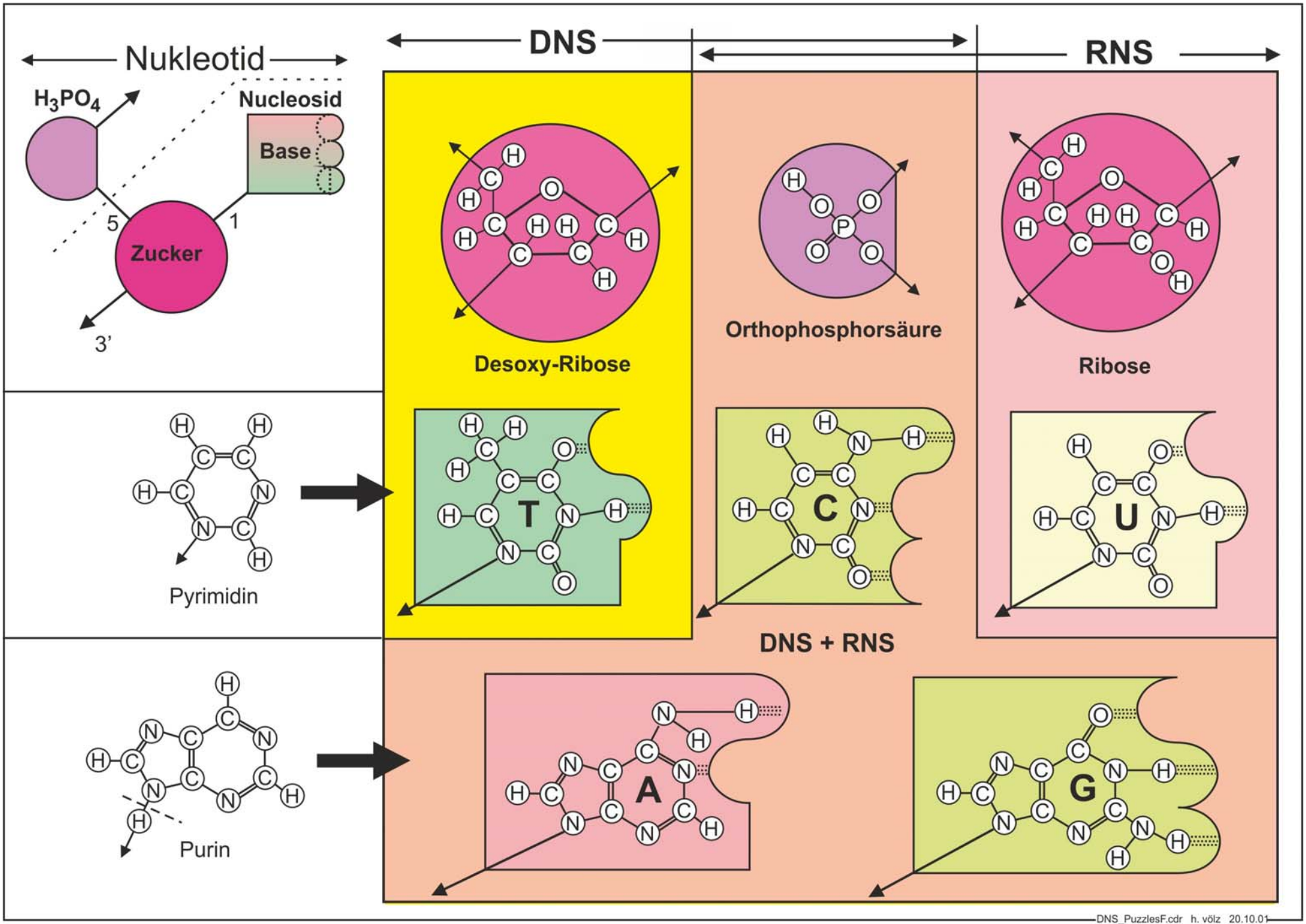
Die Doppelhelix als Speicherzustand

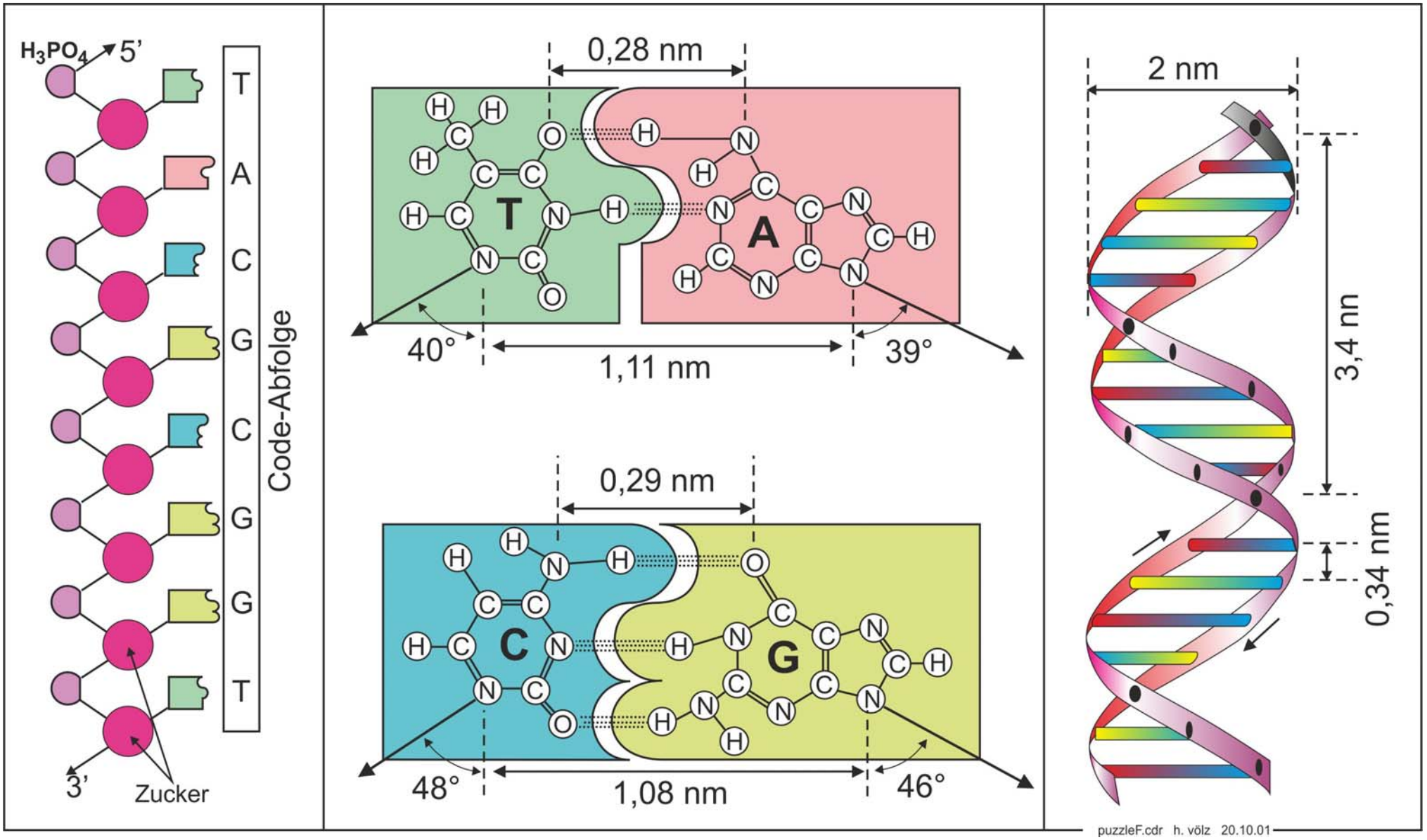
Der Grundbaustein der Genetik ist die *Desoxy-Ribose-Nuklein-Säure* (sprich: nu-kle-in), kurz DNS.
Statt DNS wir auch englisch DNA (*acid* = Säure) benutzt.
Sie existiert nur im Zellkern gut geschützt.
Ins Zytoplasma wird die leicht veränderte Kopie RNS (*Ribose* NS =RNA) zur Nutzung kopiert.

Beide bestehen aus 3 Substanzen, die zum Nukleotid verbunden sind (nächstes Bild):

- ***Orthophosphorsäure*** H_3PO_4
- ***Zucker***: Desoxy-Ribose $C_5H_4O_4$ bzw. bei RNS Ribose $C_5H_4O_5$
- ***organische Base***, die sich in vier (fünf) Varianten vom Purin oder Pyramidin ableiten und zu T (Thymin), A (Adenin), G (Guanin) und C (Cytosin) bzw. U (Uracil bei RNS) führen. T, A, G und C bilden für die DNS den „Zeichenvorrat“ der genetischen Codierung.

Das Nukleotid besitzt ein 3er und 5er Ende.
Darüber sich mehrere zur Doppelhelix verbinden (übernächstes Bild)
Die beiden Teilstränge werden dabei durch jeweils eine Kopplung A-T bzw. C-G fest zusammen gehalten.


Nukleotid
DNS
RNS
H_3PO_4
Nucleosid
Base
5
1
Zucker
3'
Desoxy-Ribose
Orthophosphorsäure
Ribose
Pyrimidin
T
C
U
DNS + RNS
Purin
A
G
DNS_PuzzlesF.cdr h. völz 20.10.01


H3PO4
5'
T
A
C
G
C
G
G
T
Code-Abfolge
3'
Zucker
0,28 nm
T
A
40°
1,11 nm
39°
0,29 nm
C
G
48°
1,08 nm
46°
2 nm
3,4 nn
0,34 nm
puzzleF.cdr h. völz 20.10.01

Länge der DNS

In den verschiedenen Chromosomen gibt DNS- Abschnitte.
Werden sie rein theoretisch aneinander gehängt so ergeben sich folgend Längen bei einigen Zellen.

Art	Länge
Mitochondrien Mensch	5,6 μm
Mitochondrien Hefe	25 μm
λ-Phage	16,5 μm
Chloroplasten Mais	44 μm
Escherichia coli	1,36 mm
Hefe	4,6 mm
Drosophila	5,6 cm
Seeigel	17 cm
Krallenfrosch	1 m
Mensch	1 m

Die Länge ist als nur sehr bedingt ein Maßstab für die ***Evolutionshöhe***.
Je nach Bedarf usw. gibt es ***ungenutzte und mehrfach vorhandene*** „Code-Abschnitte“
Einige Codeabschnitte bestimmen ***Gene***, die spezielle (sichtbare) Eigenschaften des Lebewesens bestimmen.
1944 wies der kanadische Bakteriologe OSWALD THEODORE AVERY (1877 - 1955) nach, dass die DNS die Erbsubstanz des Lebens ist.

Genetischer Code

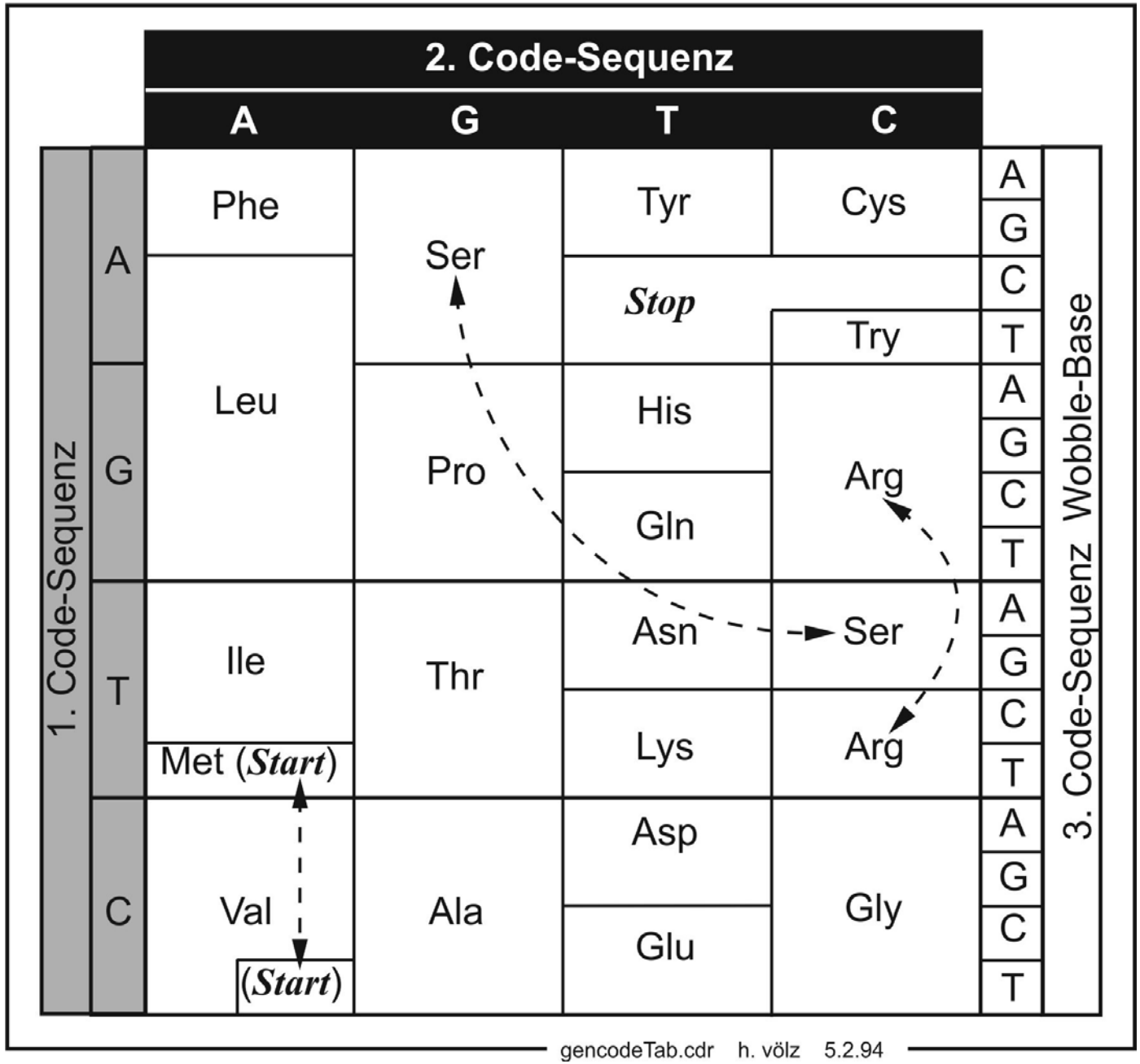
Er muss zwischen den 4 Nukleotiden und den 20 Aminosären vermitteln. Das ist nur mit Redundanz möglich:

4^2 =16 < 20 bzw. 4^3 = 64 > 20

So wird die nebenstehende Code-Tabelle mit den drei aufeinander folgenden Sequenzen verständlich.

Die Redundanz bringt natürlich Sicherheit und reduziert vor allen das Gewicht der 3. Codesequenz.

Außerdem sind so Start- und Stop-sequenzen möglich, die Anfang und Ende einer Proteingenerierung bedeuten.
Den Überblick hierzu gibt die folgende Tabelle

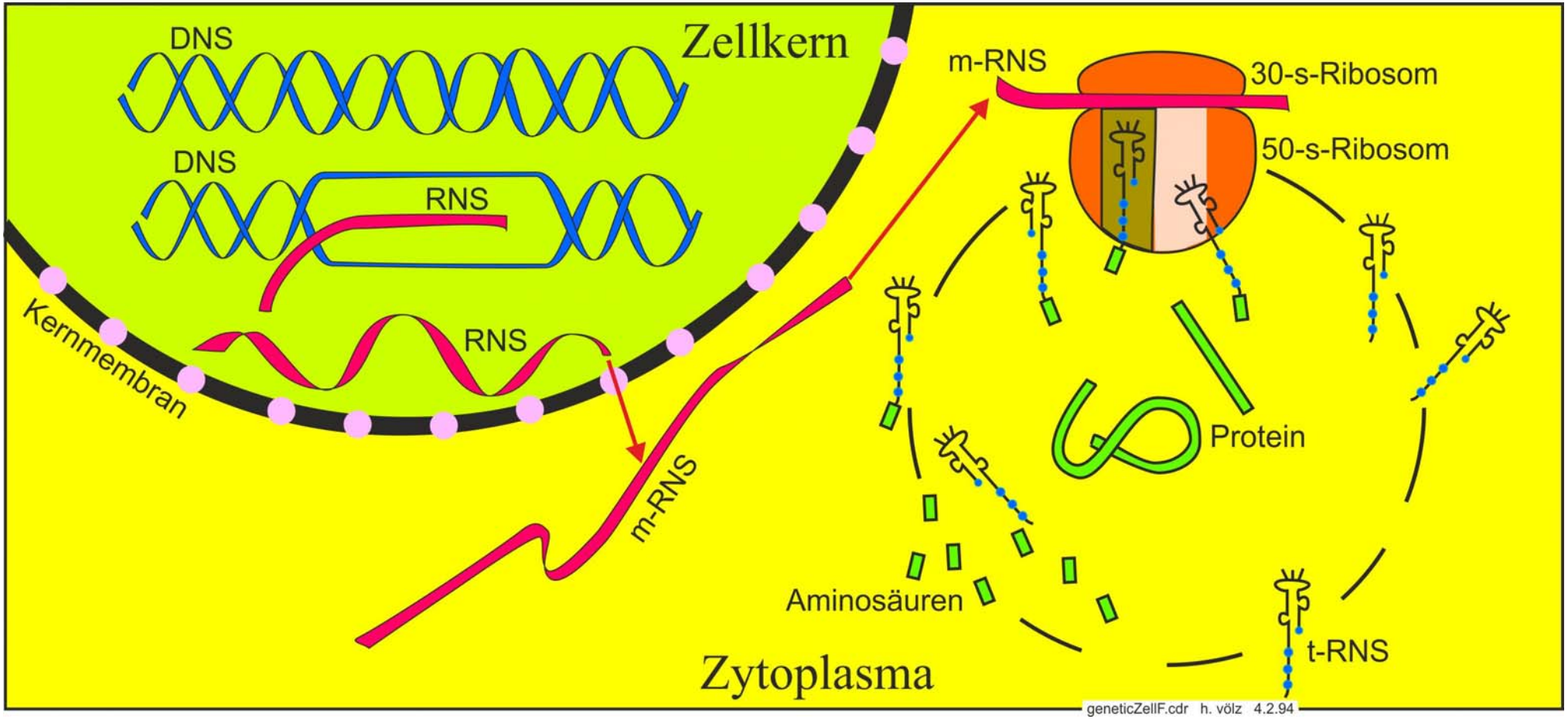


Zusammengefasster Überblick zum genetischen Code

Jede Zelle enthält im Zellkern die **DNS** als genetische Speicherung der zu vererbenden Information.	Die **Eiweiße** bestimmen u.a. als Baustoffe und Enzyme die Lebens-Prozesse; Fette und Kohlenhydrate sind zweitrangig.
Außerhalb des Zellkernes gelangt eine abgeleitete Variante (Kopie) der DNS, die RNS. Sie besitzt einen anderen Zucker und eine modifizierte organische Base (Uracil).	Die Eiweiße nehmen vielfältige Sekundär- bis Quartär-Strukturen an, die sich auch dynamisch ändern können.
Das **Nukleotid** besteht als Grundbaustein der DNS aus: • Orthophosphorsäure, • Zucker (Penthose) und • einer organischen Base aus 4 Arten.	Die **Aminosäure** besteht als Grundbaustein der Eiweiße aus: • NH_2, C, COOH als Komponenten, • $^{\alpha}C$ als zentrales Atom und • einem Radikal aus 20 Arten.
Ketten aus 10^4 bis 10^{10} Nukleotide bilden die Doppelhelix.	Ketten aus 50 bis 10 000 erzeugen durch Peptid-Bildung die Eiweiße.
Komplexität: $4^n = 10^{0,6 \cdot n}$	Komplexität: $20^n = 10^{1,3 \cdot n}$
3 Nukleotide codieren 1 Aminosäure	

Der genetische Prozess

Im Zellkern wird der für ein Protein notwendige Code in einen RNS-Abschnitt codiert.
Infolge seiner einfacheren und kleineren Struktur kann er den Zellkern verlassen.
Mittels Ribosonen wird daraus mit speziellen t-RNS schrittweise das Protein aufgebaut.
Die t-RNS besitzen dazu den 3-Code (oben) und die dazugehörende Aminosäure (unten).

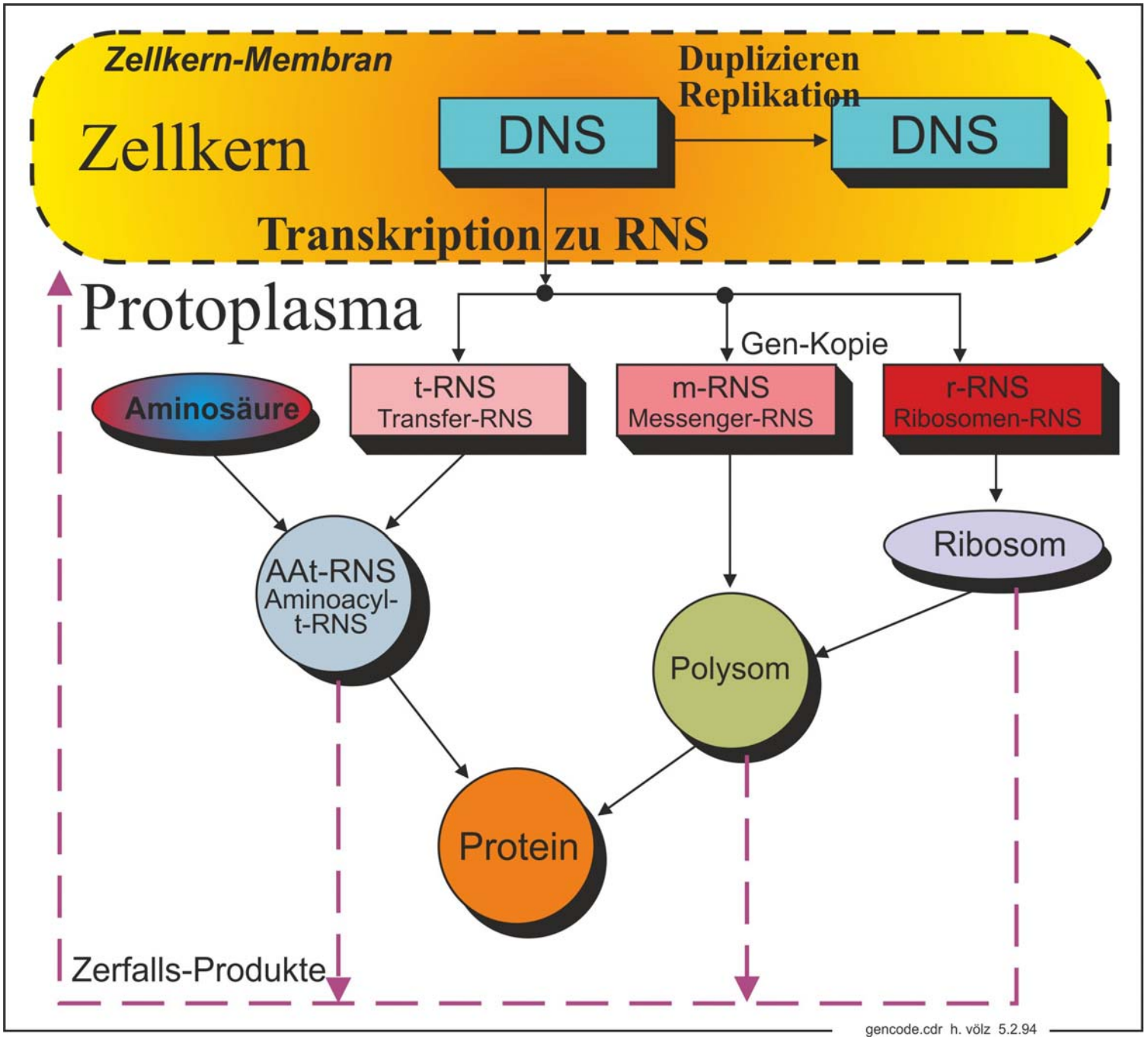


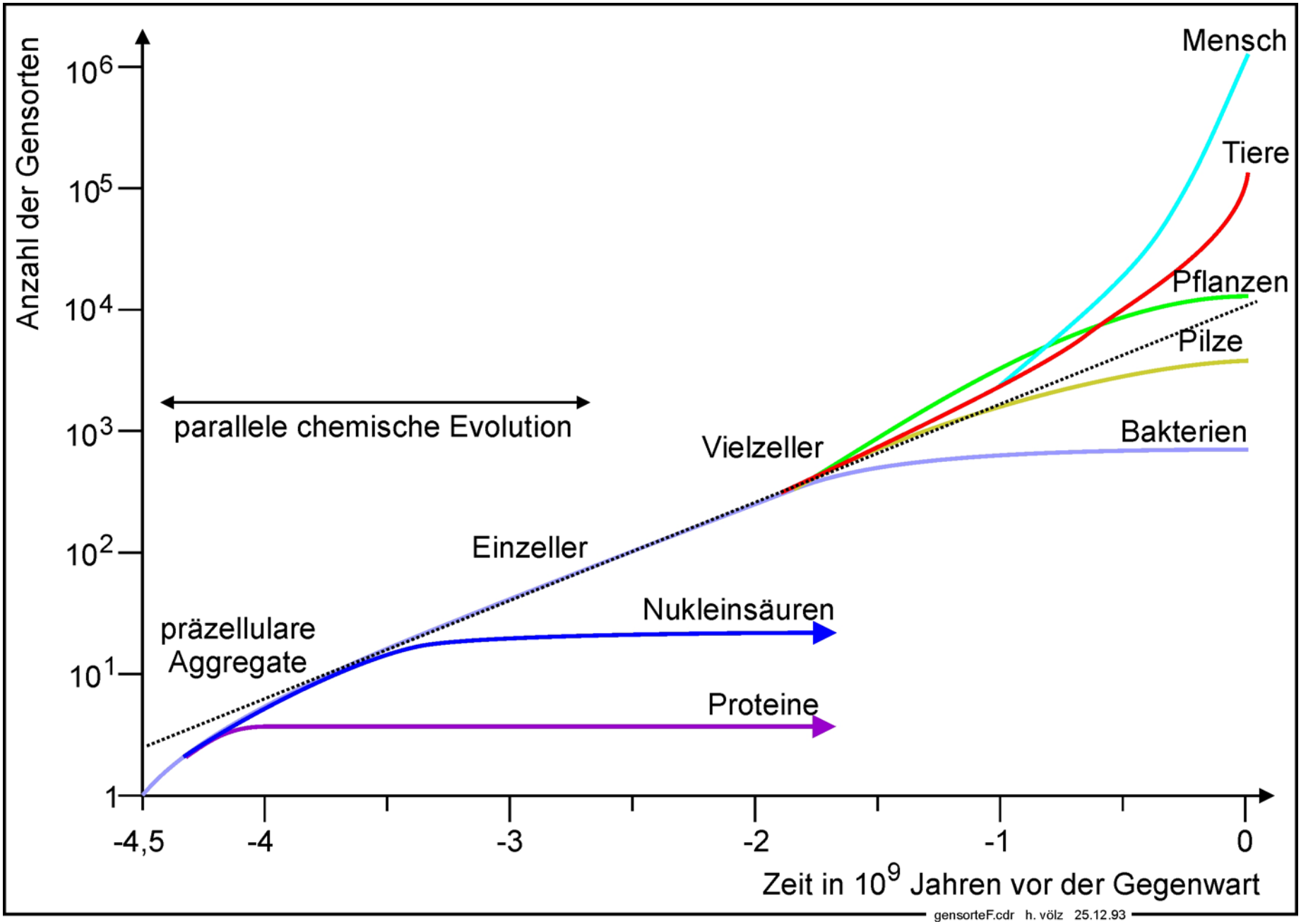
Gesamter Prozess

Das nebenstehende Bild zeigt, wie die einzelnen Prozesse und Gebilde mit-einander zusammenhängen.

Wie sich die Komplexität des Lebens entwickelt hat zeigt noch das nächste Bild.

Auf weitere Details zur Genetik muss hier verzichtet werden. Weitere Details in [6] S. 167 ff.




Anzahl der Gensorten
10^6
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
1
Mensch
Tiere
Pflanzen
Pilze
Bakterien
Vielzeller
Einzeller
parallele chemische Evolution
präzellulare Aggregate
Nukleinsäuren
Proteine
-4,5
-4
-3
-2
-1
0
Zeit in 10^9 Jahren vor der Gegenwart
gensorteF.cdr h. völz 25.12.93

Einordnung der genetischen Information

In erster Linie ist sie ***W-Information***. Die DNS bewirkt als stofflich-energetischer Informationsträger in dem System Zelle und deren Umgebung das Informat. Dieser Vorgang ist im kybernetischen Sinne ein ***komplexer Auslöseeffekt***. In diesem Sinne ist auch die Wirkung von ***Viren*** verständlich. Sie dringen als „falsche“ informationsträger in de Zelle ein, um sie umzuprogrammieren.

Dann kann sie auch im Sinne der ***S-Information*** interpretiert werden. Die DNS ist dann die ***hochkromimierte Nachricht*** für die Zelle.

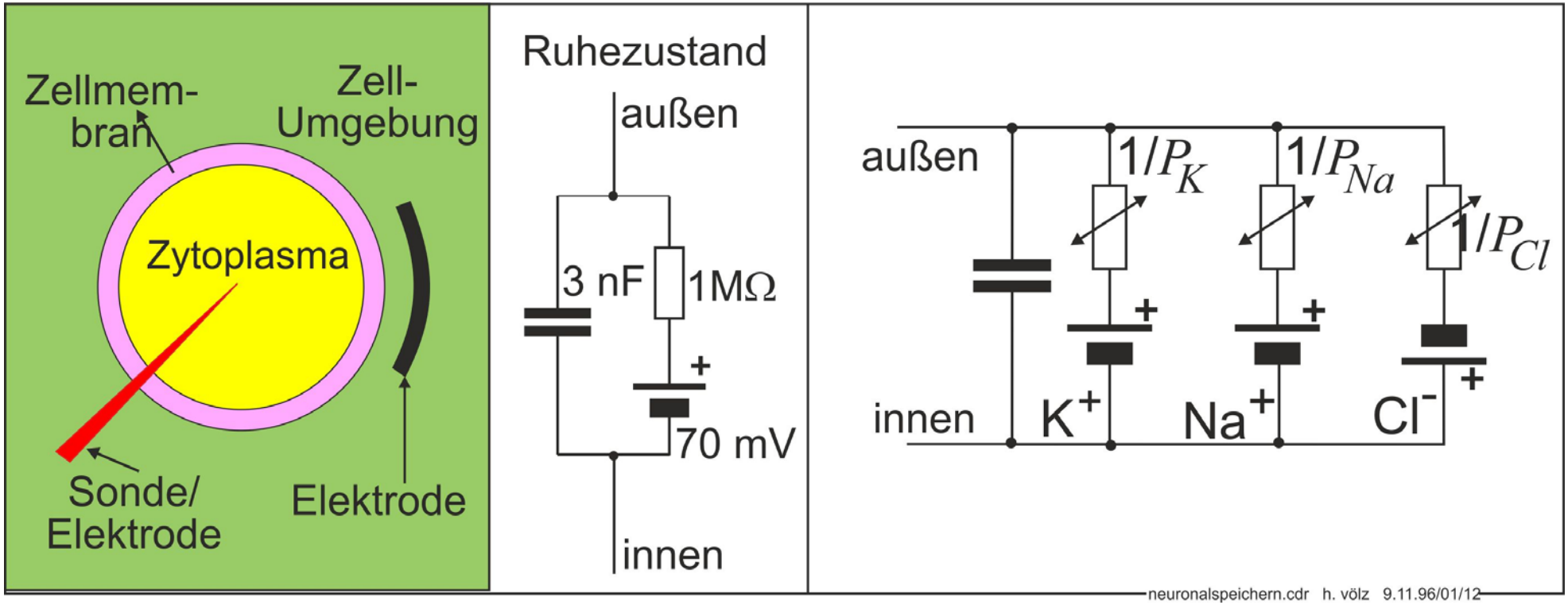
Schließlich ist in der DNS all dies gespeichert enthalten, daher ist es auch berechtigt, von ***P-Information*** zu sprechen. Sie muss erst zum benötigten Zeitpunkt ***wiedergegeben*** (rückgewonnen) werden.

Neuronale Information

Die **Genetik *speichert*** die wesentlichen Kennzeichen des Lebewesens.
Sie ermöglichen ihm ein *erfolgreiches Leben und Überleben* in einer relativ konstanten Umgebung
Auf die meisten externen Reize erfolgen dabei fest programmierte, zweckmäßige Reaktionen.
Bei **beweglichen Lebewesen** kann sich die ***Umwelt sehr stark und schnell ändern*** ⇒ Wetter, Klima, Orte
Diese ***Vielfalt*** von Einflüssen ist für die genetische Speicherung erheblich ***zu groß*** (Platz in der Zelle).
Anpassungen durch ***Mutation und Bewährung*** können nur ***viel zu langsam*** über viele Generation geschehen.
Besser ist es: Jedes einzelne Individuum ***lernt schnell aus*** positiven und negativen ***Erfahrungen***
Solch „Wissen“ ist jedoch für andere Individuen und insbesondere nachfolgende Generationen meist unbrauchbar
Daher kann (oder muss sogar) mit dem ***Tod jedes Individuums*** diese Information ***verloren gehen.***
So bildete sich in der Evolution bei höheren Lebewesen ein weiterer andersartiger Speicher, das **Gedächtnis** heraus.
Das ***beginnt*** etwa bei den ***Polypen***, wird immer komplexer und entwickelt sich über Insekten, Krebstiere, Spinnen, Weich- und Wirbeltiere bis zum Menschen.
Die Basis hierfür sind speziell ***umgewandelte Zellen, die Neuronen***
Sie ***lernen*** aus dem erlebten Geschehen und behalten so für die Wiederkehr ein ***optimales Verhalten***.
Die (mentalen) ***Gedächtnisinhalte*** werden auch ***Engramme*** (Gedächtnisspuren) genannt und betreffen Vergangenes
Griechisch ***en*** in, ***gráphein*** schreiben, *lateinisch* ***mentalis*** geistig, vorgestellt.
Mit dem neuen Gedächtnis entsteht (zumindest beim Menschen) das Bewusstsein.
Werden Gedächtnisinhalte ***zurück ins Bewusstsein*** gehoben, dann heißen sie ***Erinnerung***
Auch ***Denken*** nutzt Gedächtnisinhalte und kann daraus ***auch neue Inhalte erzeugen***.
Denken (in Zeichen) ist dabei vorwiegend abstrakt. ***Erinnern*** an das Vergangene ist im Wesentlichen konkret.

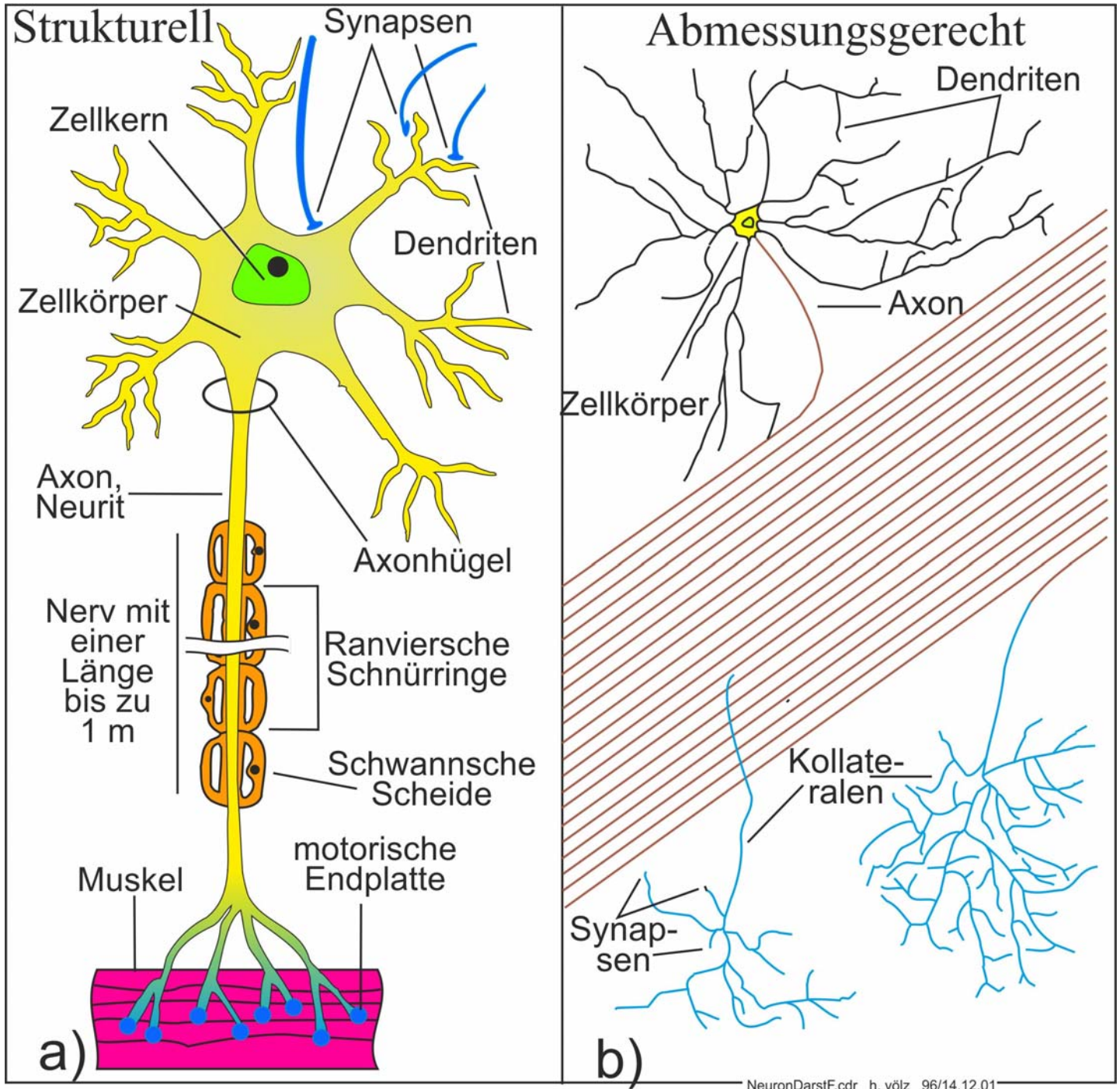
Zelle als Spannungsquelle

Ein Neuron ähnelt zunächst ganz grob einer beliebigen biologischen Zelle.
Durch die äußere Membran wird im Innern eine bestimmte Ionenkonzentration (K^+, Na^+, Cl^-) aufrecht erhalten.
Dies ist notwendig, damit die vielen erforderlichen biologisch-chemischen Reaktionen korrekt ablaufen,
Wesentlich sind dafür ***aktive Ionenpumpen*** in der Membran.
So ergibt sich gegenüber der Umgebung eine elektrische Spannung von meist ca. 70 mV.
Das schematische Schaltbild verdeutlichen diesen Fakt.
Infolge der sehr dünnen Membran gilt grob C ≈ 1 µF, Die P_X sind die Membranwiderstände für die Ionen.



Das Neuron

Je nach Aufgabe gibt es morphologisch viele verschiedene Neuronen, typische sind sie oft in der Großhirnrinde (s. u.)
Der ***Zellkörper*** ist als zentraler Teil ähnlich wie eine übliche Zelle aufgebaut, ∅ ≈ 2 bis 100 µm.
Sein Zellkern steuert wiederum Zellgeschehen
Die ***Dendriten*** (*griechisch* ***déndron*** Baum) sind eine Vielzahl (mehrere hundert) von Ausstülpungen.
Funktionell gehören sie zum Zellkörper, verleihen dem Neuron etwa das Aussehen einer Kastanie.
Sie enden spitz und können sich aber auch weiter, z.T. baumartig, verzweigen.
Ihre Länge liegt zwischen einigen Mikrometern und Millimetern.
Funktionell vergrößern sie die Oberfläche des Neurons um ein Vielfaches für die Reizaufnahme.
Auf die Membran des Zellkörpers und der Dendriten wirken Synapsen (s.u.) ein.
Auf ein Neuron können insgesamt durchaus mehrere Zehntausend einwirken.
Das ***Axon*** beginnt am Axonhügel und ist die *einzige* spezialisierte Fortsetzung des Zellkörpers.
Es dient der Informationsfortleitung und kann sich dazu auch in mehrere bis viele Kollateralen verzweigen.
Im Gegensatz zu den Dendriten endet es nicht spitz, sondern besitzt etwa konstanten Durchmesser von wenigen µm.
Seine Länge kann aber bis zu einem Meter betragen.
Viele Axone, besonders bei höheren Tieren sind in kurzen Abständen mit Myelin-Scheiden umhüllt.
Zwischen je zwei solcher Myelin-Scheiden befindet sich ein Ranvierscher Schnürring.
Das Ende der Kollateralen (bzw. der Verzweigungen) endet in Synapsen bzw. bei Muskeln motorischen Endplatten.
Das Bild a) zeigt hierfür den schematisch Aufbau, b) mehr die Größenverhältnisse.


Strukturell
Synapsen
Zellkern
Dendriten
Zellkörper
Axon,
Neurit
Axonhügel
Nerv mit
einer
Länge
bis zu
1 m
Ranviersche
Schnürringe
Schwannsche
Scheide
motorische
Endplatte
Muskel
a)
Abmessungsgerecht
Dendriten
Axon
Zellkörper
Kollate-
ralen
Synap-
sen
b)

Synapsen

*griechisch **sýnapsis*** Verbindung

Sie befinden sich an den Enden des Axons bzw. der Kollateralen.

Alle zusammen können bis zu 40 % der Oberfläche eines Neurons belegen.

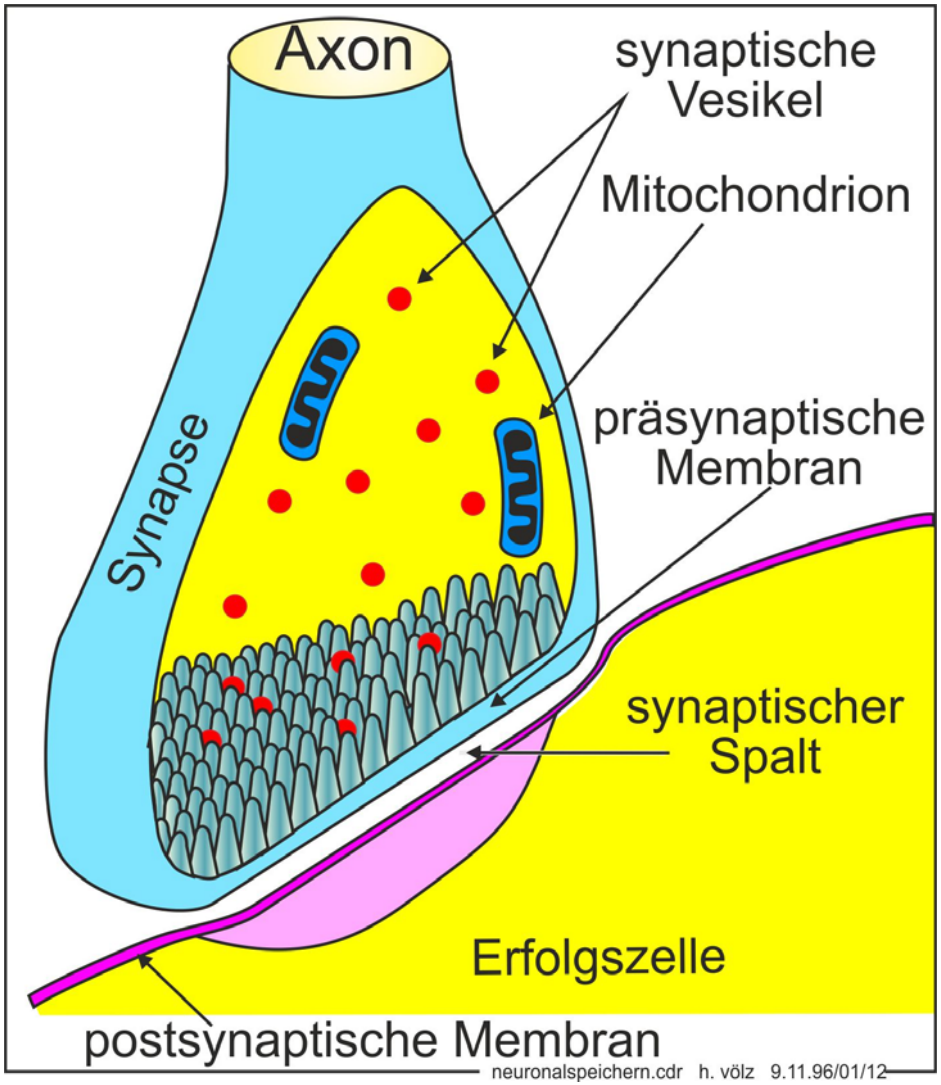
Mit ihrem Ende liegt sie getrennt durch einen synaptischen Spalt an der Zelle bzw. dem Dendriten.

Im Innern enthält sie ca. 20 000 synaptische Vesikel.

Durch einen noch zu behandelnden Impuls platzt ein Bläschen und schüttet seinen Transmitter in den Spalt.

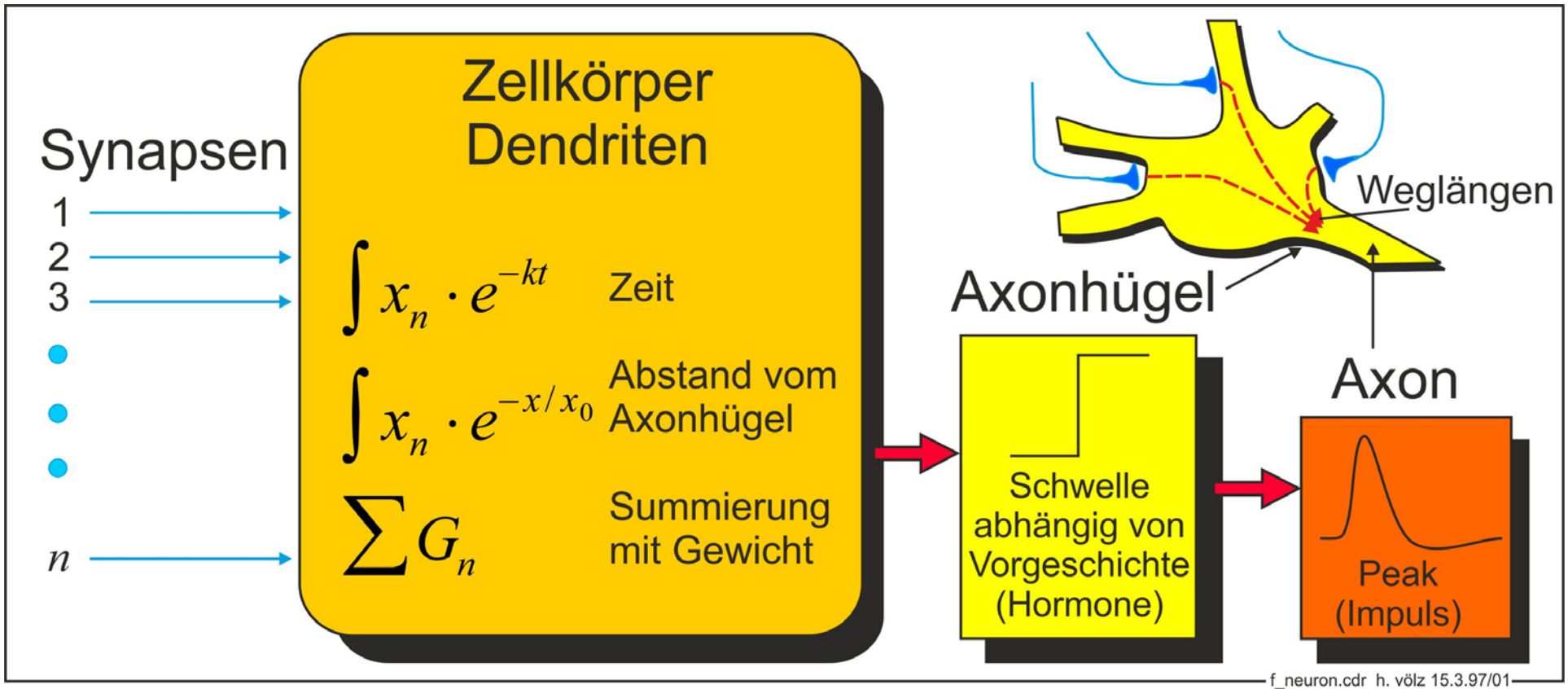
Dadurch werden an dieser Stelle die aktiven Ionenpumpen still gelegt und zugleich wird hier die Membran für die Ionen durchlässig.

In diesem Sinne wird also auf die folgend Zelle ei Steuerimpuls übertragen,



Der Peak = aktiver Impuls

Solange nur kleine Stellen des Neuron vom Transmitter verändert werden, können die Pumpen die ausgleichen.
Überlagert sich aber der Einfluss vieler Synapsen, so kann die Spannung des Neurons zusammenbrechen.
Hierzu bildet das Neuron ein Integral aus den Weglängen bis zum Axionhügel sowie der zeitlichen Überlagerung.
Wird dabei ein typisches Maß (Gewicht *G*) überschritten, so bricht Spannung des Neurons zusammen.
Dieser Impuls gelangt dann auf ähnliche ***chemisch-elektrische*** Weise zu den Synapsen der „Erfolg“-Zellen.



Neuronen-Schaltungen

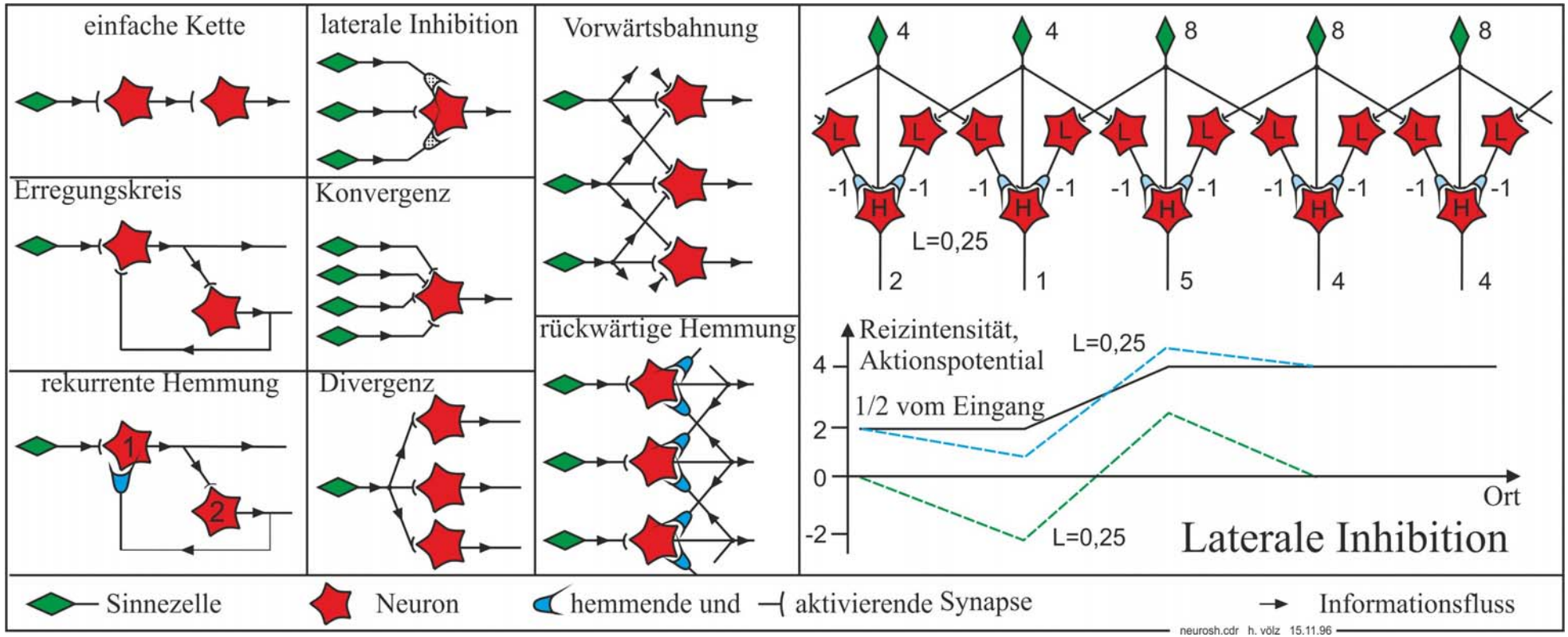
Neuronen benutzen z. T. unterschiedliche ***Transmitter***, die sie zu allen ihren Synapsen fortleiten.
Für die Auslösung eines Impulses wirken daher sie ***teils fördernd oder hemmend***.
Im Gehirn sind die sehr vielen Neuronen auf ***hoch komplex verschaltet***.
Ein ***Mensch*** besitzt einige 10^{10} Neuronen, die zudem z. T. über 50 Synapsen miteinander Verschaltet sind.

Zunächst wurden genaue Verschaltungen nur bei sehr einfachen Lebewesen gefunden.
Inzwischen sind sie auch bei einigen Insekten bekannt. Hierbei war die hohe Parallelität ihrer Augen vorteilhaft.

Theoretisch sind einfache Grundstrukturen gemäß dem folgenden Bild möglich, doch praktisch treten sie kaum auf.

Lediglich die ***laterale Inhibition*** wurde 1959 von RATCLIFF und HALDAN KEFFER HARTLINE **(**1903 - 1983) am Facettenauge des Pfeilschwanzkrebses (Limulus) experimentell gefunden.
Durch sie wird der Kontrast an einem Helligkeitssprung (4 →8) deutlich überhöht.
Dabei geht die Stärker der Lateral- L und Horizontalneuronen H deutlich in das Ergebnis ein.
Es werden so MACH‘schen Streifen wahrgenommen (ERNST MACH: 1838 - 1916).

Es gibt den Witz:
Was nutzt der Braut die Schaltung des Gehirns ihres Bräutigams?
Praktische nichts: Es ist viel zu komplex, als dass sie es verstehen und nutzen könnte.
Außerdem ändert sich die Schaltung durch tägliches Hinzulernen fortwährend recht schnell.



Bei der ***einfachen Kette*** durchläuft die Erregung die Neuronen mit einer Verzögerung nacheinander.
Bei der ***Konvergenz*** wirken mehrere Neuronen mit sich gegenseitig verstärkender Intensität auf ein Neuron ein.
Bei der ***Divergenz*** wirkt ein Neuron (Sinneszelle) über Kollateralen parallel auf mehrere Nachfolge-Neuronen ein.
Überlagern sich mehrere Divergenz- und Konvergenzschaltungen, so kann eine ***Vorwärtsbahnung*** entstehen.
Beim ***Erregungskreis*** führt ein zweites Neuron das Signal zurück und verstärkt es (Möglichkeit von Schwingungen)
Mittels ***hemmender*** Synapsen können weitere Schaltungen entstehen:
Die ***rekurrente Hemmung*** bewirkt, dass erst dann ein zweiter Reiz das Neuron **1** verlassen kann, wenn die verzögerte Erregung des hemmenden Neurons **2** abgeklungen ist.
Die ***rückwärtige Hemmung*** ist das schaltungsgemäße Gegenteil der Vorwärtsbahnung. Sie bewirkt eine Einengung örtlich begrenzter Erregungsmuster. Aus anderer Sicht kann sie als eine Kombination von rekurrenter Hemmung und der folgenden lateralen Inhibition aufgefasst werden.

Gedächtnis

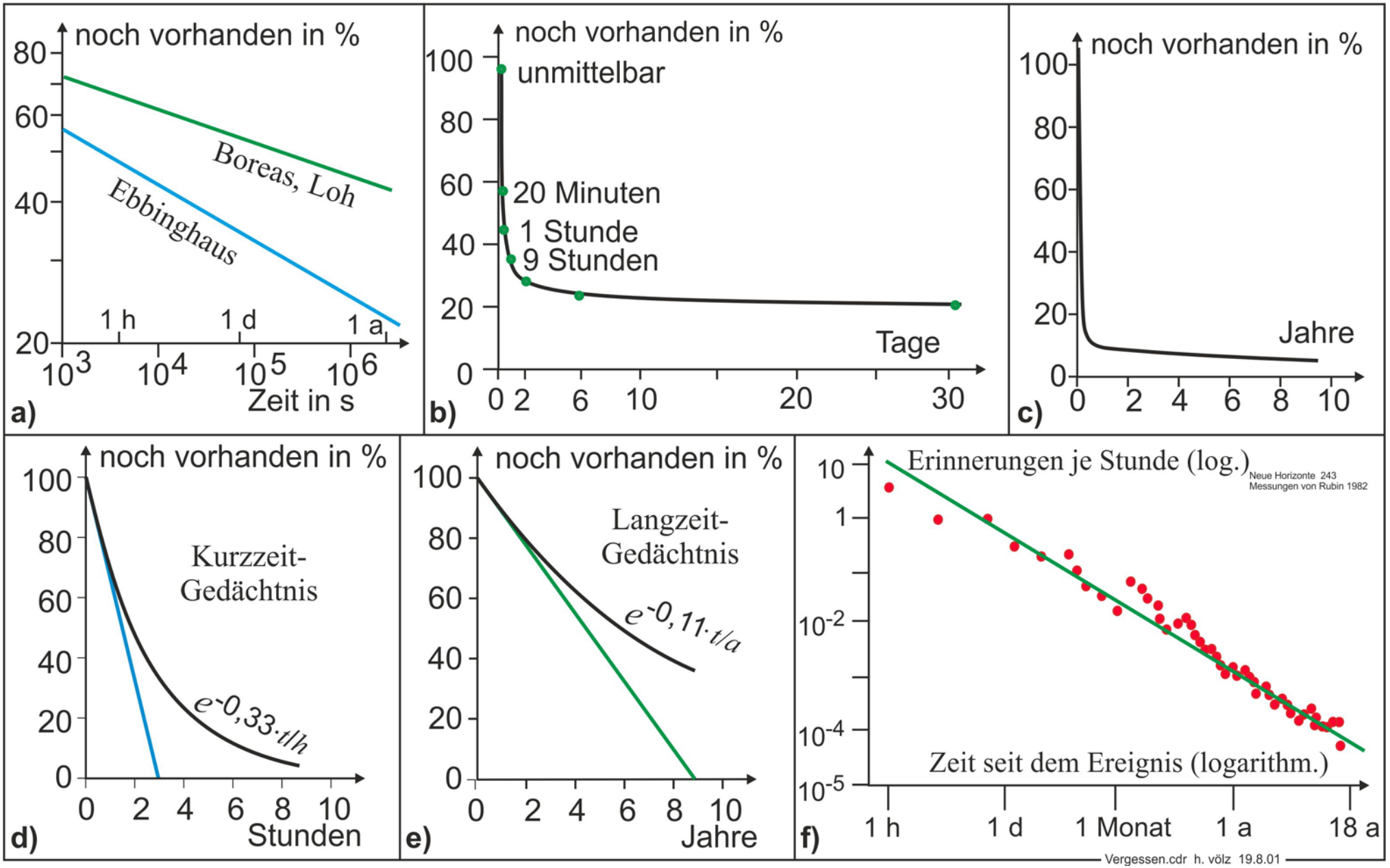
Auch wenn die Verschaltung unseres Gehirns nicht bekannt wissen wir viel über seinen gröberen Aufbau.
Doch das interessiert kaum für die Speicherung. Wichtiger ist seine Fähigkeit, unser Gedächtnis.
Seine typischen Eigenschaften waren jedoch relativ schwer zu erkunden.

Erste bekannte *systematische* Analyse betrifft hauptsächlich Assoziationen: ARISTOTELES (384 - 322 v.Chr.)
1862 bemerkte RUDOLF WAGNER (1805 - 1864), dass sein Kupferstecher LOEDEL nach einem Unwohlsein innerhalb weniger Minuten alles vergaß. Die spätere Obduktion zeigte Veränderung im Hippocampus).
1885 ***experimentelle Studien*** HERMANN EBBINGHAUS (1850 – 1909). Buch „Über das Gedächtnis“: assoziatives und verbales Lernen, über das Vergessen sinnloser Silben bestimmte er den Gedächtnisumfang [16].
1890 Analysen von WILLIAM JAMES (1842 - 1910) lassen ein ***primäres und sekundäres*** Gedächtnis unterscheiden
1928 postuliert OTTO PLÖTZL: ***Halluzinationen*** sind ungeordnete Inhalte die aus dem Gedächtnis kommen.
1949 DONALS Olding HEBB (1904 – 1985) postuliert ***„plastische“ Neuronen***, bleiben bis Ende 50er Jahre umstrittenen
1958 BROADBENT unterscheidet ein ***Kurz- und Langzeit-Gedächtnis***

Insgesamt gab und gib es mehrerer funktionelle Theorien zur Erklärung des Gedächtnisses
Sie reichen von der Wachtafel des PLATON, über die Hologrammtheorie 1971 von K. H. PRIBRAM und die Filtertheorie DONALD BROADBENT bis zur heute meist favorisierten Stufentheorie.

Von wesentlichem Einfluss waren dabei zwei Fakten.

- Es gibt kein ***Gebiet*** im Gehirn mit ***bestimmten gespeicherten Inhalten*** (Begriffen usw.)
- Werden Gebiete zerstört, so tritt immer nur ein ***dem Volumen etwa proportionaler Qualitätsverlust*** ein.


noch vorhanden in %
80
60
40
20
Boreas, Loh
Ebbinghaus
1 h
1 d
1 a
10^3
10^4
10^5
10^6
Zeit in s
a)
noch vorhanden in %
100
80
60
40
20
0
unmittelbar
20 Minuten
1 Stunde
9 Stunden
Tage
0 2 6 10 20 30
b)
noch vorhanden in %
100
80
60
40
20
0
Jahre
0 2 4 6 8 10
c)
noch vorhanden in %
100
80
60
40
20
0
Kurzzeit-
Gedächtnis
e^-0,33·t/h
0 2 4 6 8 10
Stunden
d)
noch vorhanden in %
100
80
60
40
20
0
Langzeit-
Gedächtnis
e^-0,11·t/a
0 2 4 6 8 10
Jahre
e)
Erinnerungen je Stunde (log.)
Neue Horizonte 243
Messungen von Rubin 1982
10
1
10^-2
10^-4
10^-5
Zeit seit dem Ereignis (logarithm.)
1 h
1 d
1 Monat
1 a
18 a
f)
Vergessen.cdr h. völz 19.8.01

Zwei Arten von Gedächtnisinhalten

deklarativ	nicht-deklarativ
beschreibend	erklärend
explizit, relational, enzyklopädisches semantisch (Zeitvarianten!) ⇔ episodisch.	implizit prozedural (Fertigkeiten) ⇔ Priming (Vorwissen).
„Wissen ***was oder dass***“, Fakten, Datenbank, Lexikon, Wissen, Biographie, Denkpsychologie, Kognition.	„Wissen ***wie***“, Regeln, Abläufe, Prozesse, Fertigkeiten Behaviorismus, Verhalten.
Gespeicherte Ereignisse/Fakten meist verbalisierbar, schnell, flexibel, semantische arbeitet in Zeitstufen meist bewusste Erinnerung, kann blockiert werden	Schwer zu verbalisieren, langsam, unflexibel, wirkt unmittelbar, direkt meist unbewusste Ausführung, immer zugänglich.
Durch Hirnschäden meist stark beeinträchtigt.	Durch Hirnschäden weniger beeinträchtigt.
wahrscheinlich primär und evolutionär kann ohne episodisches Wissen erworben werden. zu averbales Wissen ist wenig bekannt.	weitgehend vom Denken getrennt. ist recht langsam und unflexibel eventuel einziges Gedächttnis bei Wirbellosen.

Prozedural betrifft z. B. Gehen, Rad- oder Autofahren, Musikinstrument oder Karten spielen.
Priming betrifft Regeln bei Vorwissen, Erwartungen, Hoffnungen usw. auch Konditionierungen.

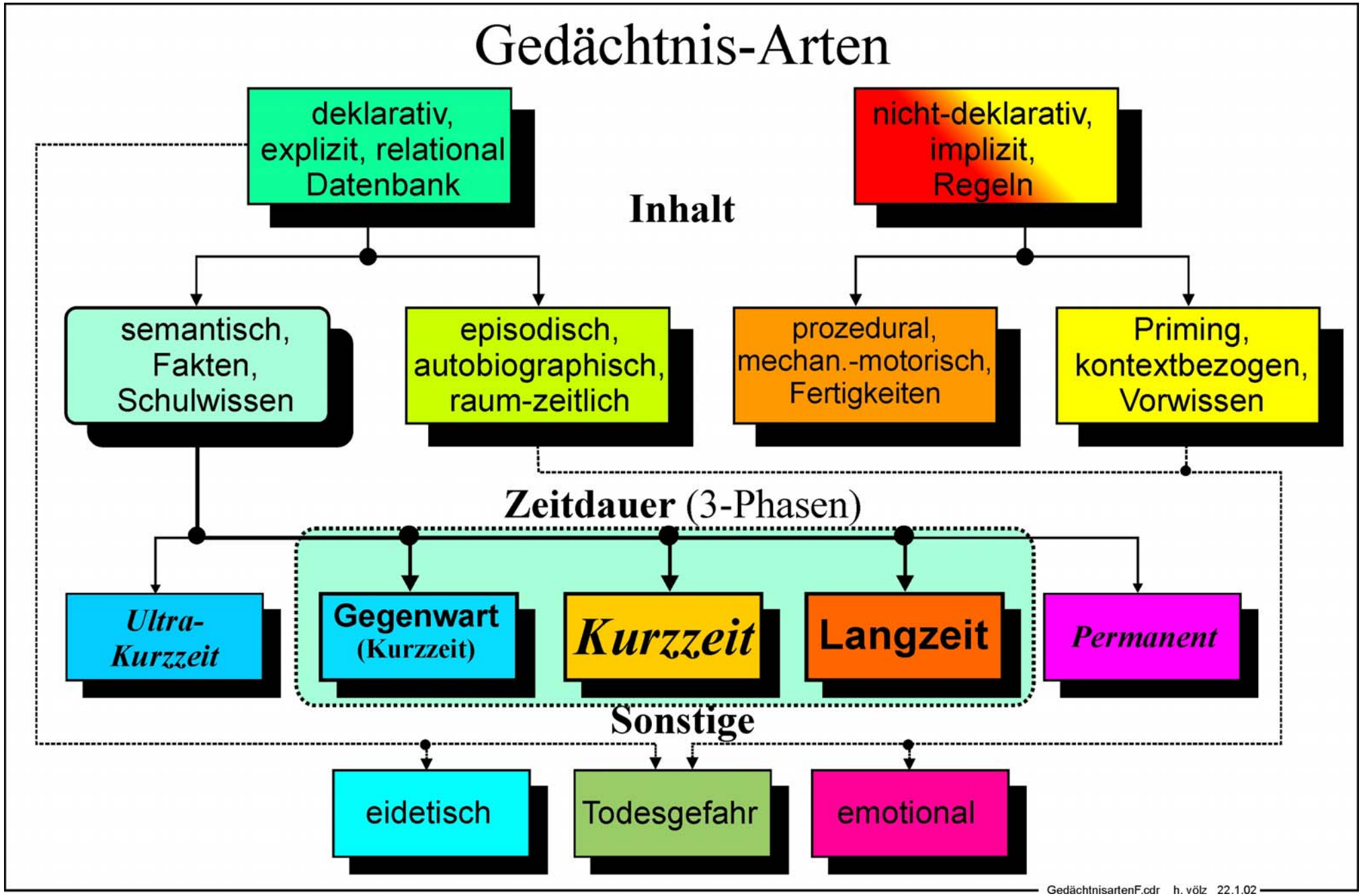
Zeitliche Stufen und quantitative Werte

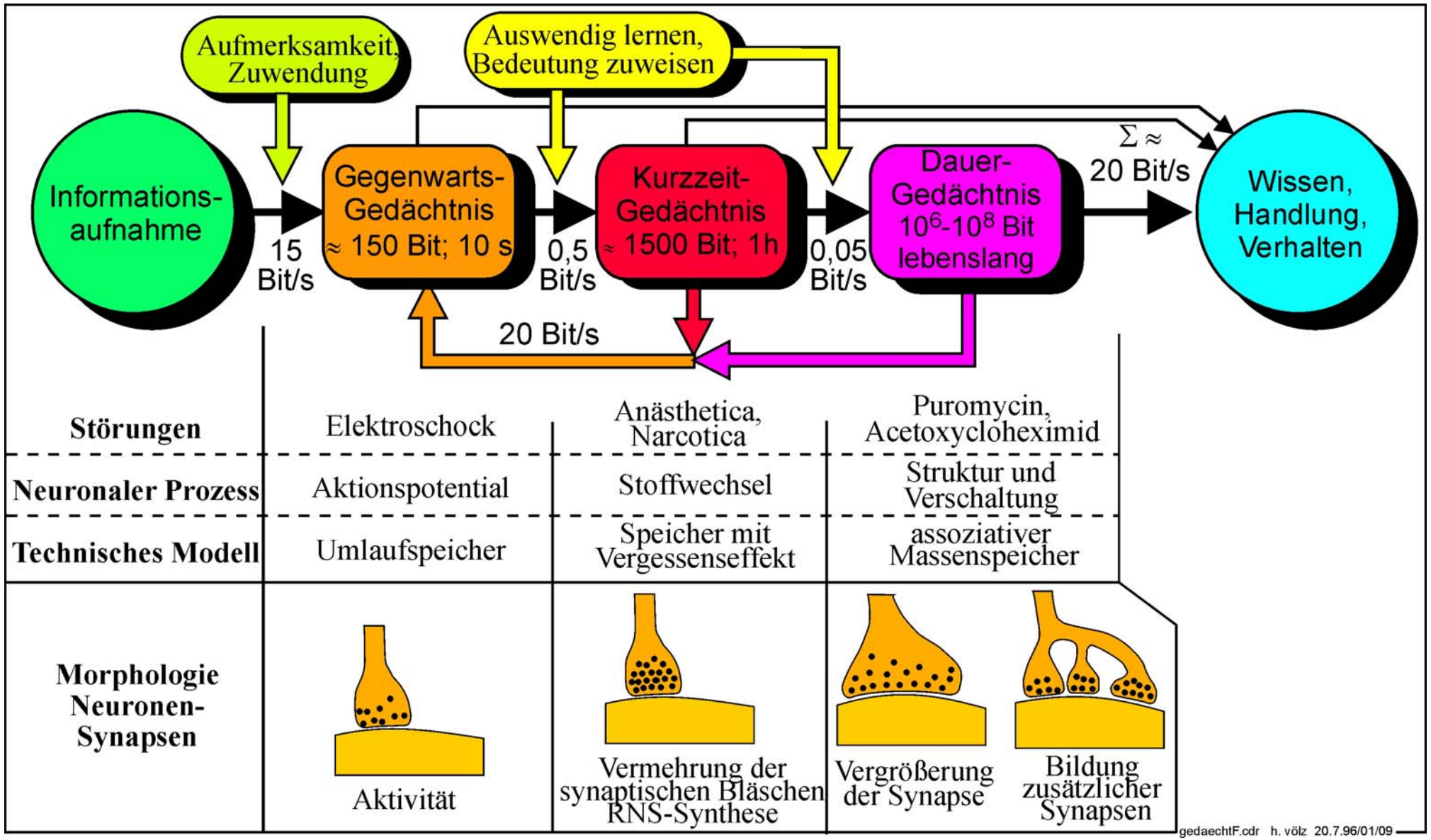
HERMANN EBBINGHAUS (1850 - 1909) fand als erster Methoden zur quantitativen Bestimmung des Gedächtnisses
Seine Probanden mussten sinnlose Silben lernen und wurden danach zu verschiedenen Zeiten abgefragt
Dadurch konnte er Semantisches und den Kontext beim Lernen ausschalten
Es zeigte sich eine exponentielle Abnahme der jeweils noch vorhandenen Silben ⇒ ***Vergessen***!
Diese Versuche wurden oft von anderen wiederholt, später auch mit mehrstelligen Zufallszahlen gearbeitet
Insgesamt zeigten sich 2, 3 oder gar 4 exponentielle Anteile für die Abnahme des Erlernten.
So entstanden ***mehrstufige Gedächtnis-Modelle***; die leider z.T. mit *unterschiedliche Namen* benutzt werden

0. ***Sensorisches*** Gedächtnis, kam erst in den beiden letzten Jahrzehnten hinzu (gilt insbesondere für Bilder usw.)
1. ***Gegenwarts***- ≈ primäres, ≈Ultrakurzzeit-, ≈Operatives, ≈Arbeits-Gedächtnis, dazu gehört unser ***Bewusstsein***
2. ***Kurzzeit-*** ≈ sekundäres Gedächtnis (erfasst größere Zusammenhänge)
3. ***Langzeit-*** ≈ tertiäres, dauerhaftes, Lebens-Gedächtnis

2. u. 3. werden zuweilen zusammengefasst als Langzeitgedächtnis bezeichnet, z.B. [18]

Das nächste und folgende Bild fasst die Inhalte detaillierter zusammen


Gedächtnis-Arten
deklarativ, explizit, relational Datenbank
nicht-deklarativ, implizit, Regeln
Inhalt
semantisch, Fakten, Schulwissen
episodisch, autobiographisch, raum-zeitlich
prozedural, mechan.-motorisch, Fertigkeiten
Priming, kontextbezogen, Vorwissen
Zeitdauer (3-Phasen)
Ultra-Kurzzeit
Gegenwart (Kurzzeit)
Kurzzeit
Langzeit
Permanent
Sonstige
eidetisch
Todesgefahr
emotional
GedächtnisartenF.cdr h. völz 22.1.02



Die Zahlenwerte gelten nur für ***Verbales***

Der untere Teil zeigt wie sich jeweils die Verschaltung durch die Synapsen ändert. [23]

Gegenwarts-Gedächtnis (GG)

1971 führte ALAN BADDELY das ***Arbeits**-Gedächtnis* für alle aktuell im Bewusstsein befindliche Gedächtnis-Inhalte ein, es gilt als Erweiterung und Differenzierung des GG aufgefasst ≈ ***Operations**-Gedächtnis*

Unsere Sinnesorgane nehmen sehr viel Information auf

Davon gelangen nur ca. **15 Bit/s** als **Informationsfluss** ins GG

Die Auswahl wird wesentlich durch ***Aufmerksamkeit, Interessen*** und ***Auffälligkeit*** beeinflusst

Der Prozess ist eng mit unserem ***Bewusstsein*** gekoppelt

Das GG kann eine ***Informationsmenge*** von ***7 ± 2 Chunk*** (*englisch* ***chunk*** Klotz, Stück, Einheit) aufnehmen

Chunk ≈ binäre Entscheidung ⇒ **Speicherkapazität** von $2^5 = 32$ bis $2^9 = 512$ → ≈**150 Bit**

Durch Hierarchiebildung mit ***Superzeichen*** lässt sich die Aufnahmefähigkeit indirekt steigern (s. o.)

z. B. Bildung von Ganzheiten: „tik - tik - tik - …“ → „tiktak - tiktak - …“ ähnlich ¾-, $^4/_4$- oder $^6/_8$-Takt

Averbales ist im GG kaum vorhanden und damit auch nicht nutzbar

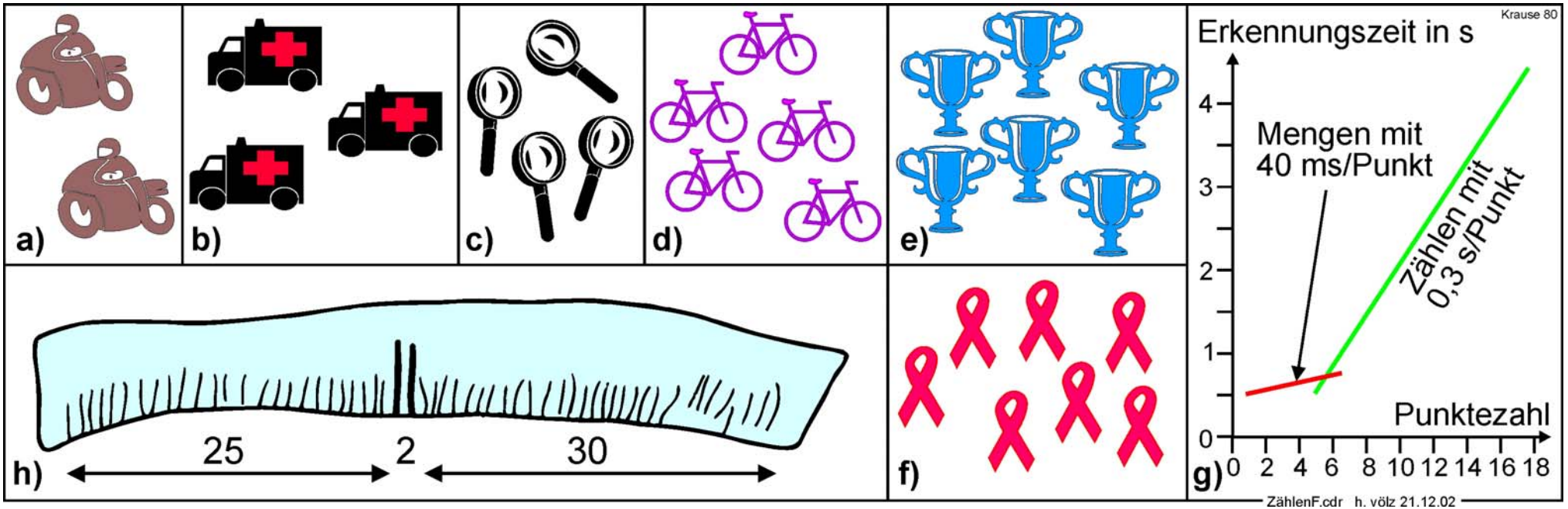
Aktuell vorhandene Information klingt exponentiell ab, nach ***10 s*** sind noch ca. ***10 % vorhanden***

Diese 10 Sekunden werden als Gegenwart empfunden ≈ **Gegenwartsdauer**

Durch ***bewusste Wiederholung*** kann eine Information lange erhalten werden (Mein Vater → Einkaufen)

Beispiele: kurz nach einem Verklingen der Kirchturmglocken lassen sich die Schläge noch nachzuzählen

Leistung ist nahezu ***unabhängig von Alter, Geschlecht, Rasse und Intelligenz***



Beispiele zur Demonstration der 7 ± 2 Chunk
a) bis etwa d) kann die Anzahl ohne zu zählen angegeben werden
e) bis f) Hier muss gezählt werden.
h) durch Gruppierung ist ähnlich wie bei Superzeichen ein Zeitgewinn zu erreichen.
g) Zählewn dauert deutlich länger.

Problem zu langer Sätze

Werden bei einem **Satz die 10 s** des GG **überschritten**, so gibt es Probleme beim Verstehen [19]:

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.

Typisch für deutsche verbale Klammer. Dagegen 4. Satz „Michael Kohlhaas“ HEINRICH VON KLEIST (1777 - 1811):

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.

Satz ist in ***mehrere Einheiten zergliedert***, die einzeln interpretiert werden können und daher nicht die 10-s überschreiten

Längste Satz der Literatur wahrscheinlich VICTOR MARIE HUGO (1802 - 1885) „Les Misérables“ (823 Wörter)

Mögliche „Lagerung“ von Wörtern

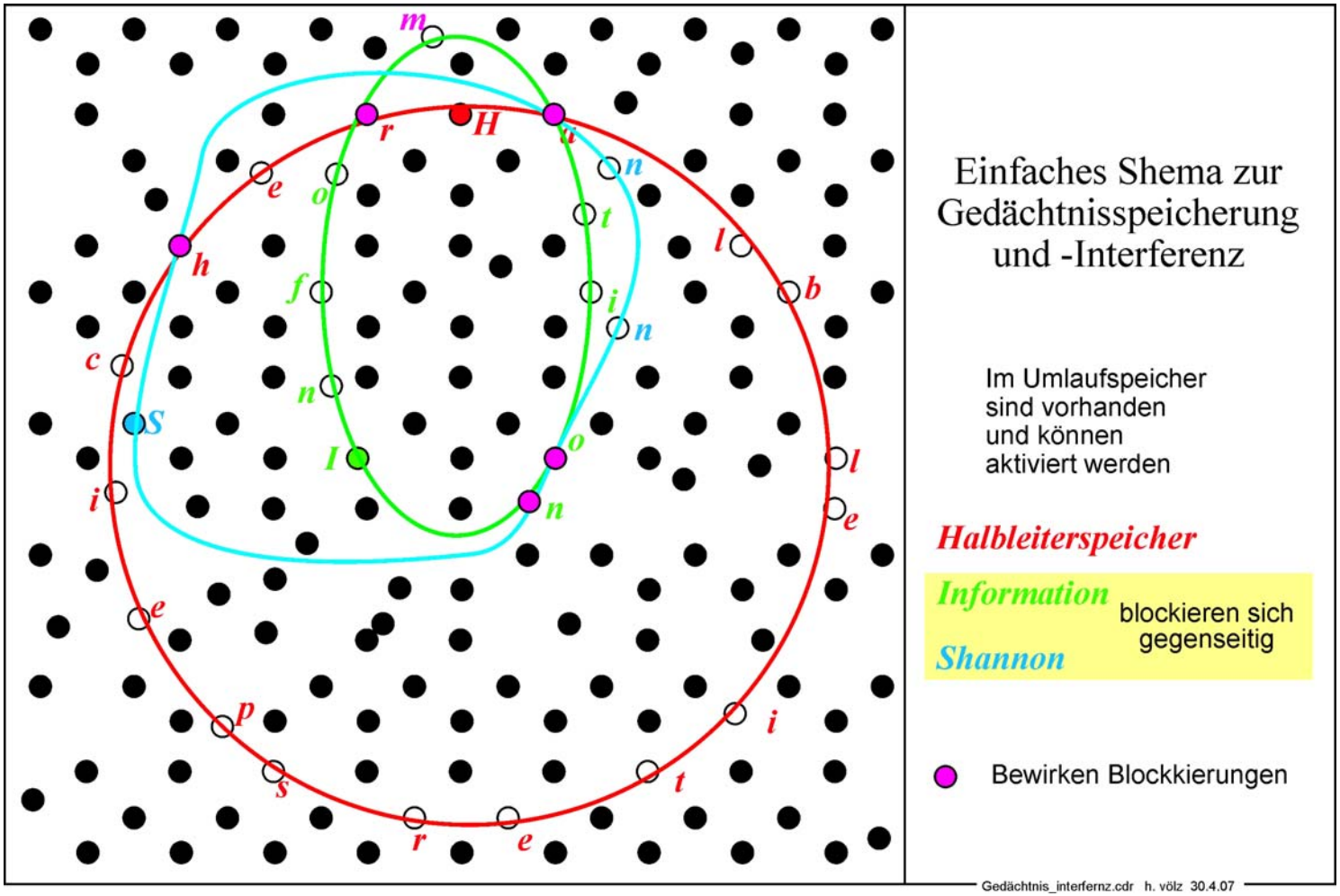
Heute gilt etwa: die Information im GG läuft ***über Millionen aktivierter Neuronen*** (evtl. + Glia-Zellen) zyklisch um. Entspricht so den Aktionspotentialen dieser Neuronen mit kurzzeitigen Veränderungen der synaptischen Kontakte.

Jeder Inhalt des GG entspricht wahrscheinlich einem typischen, elektrochemischen Erregungsmuster im Gehirn.

Daher kann der Inhalt u. a. durch Elektroschock gestört werden

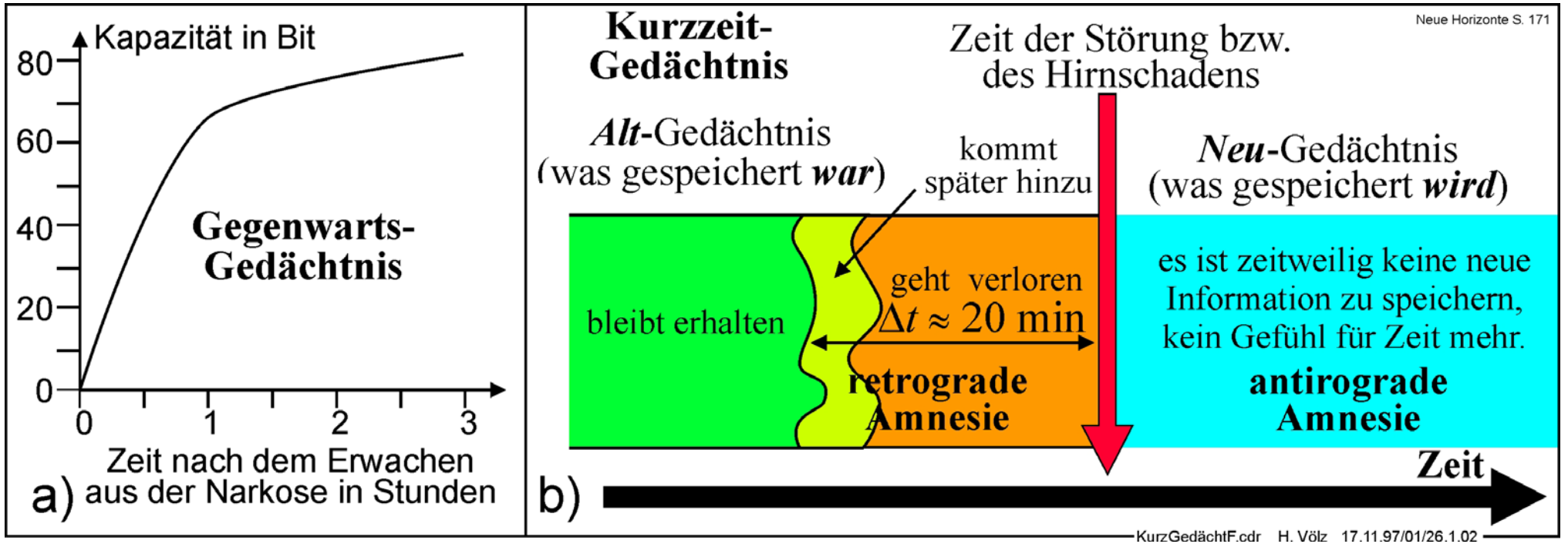
Durch die Verletzung eines Gebietes geht folglich auch nicht genau Bestimmtes verloren.

Das erklärt wie ein Begriff einen anderen blockiert. Einzelne Teile sind so anderweitig aktiviert.



Störungen des Kurzzeit-Gedächtnisses

Anästhetika, Ohnmacht usw. lösen Störungen im Kurzzeit-Gedächtnis aus.
Weil der Neuronen-Kern noch nicht zum Erzeugen von Tansmitter-Substanz angeregt wurde, kann keine mittelfristige Speicherung (= Aktivierung der entsprechenden Neuronen) entstehen.
Für die Überführung GG → KG = ***Konsolidierung*** genannt – muss auch der Hippocampus (Thalamus) intakt sein
Das bedeutet einen Gedächtnisverlust etwa 20 Minuten vor der OP usw.
Dennoch kann langfristig wieder etwas von der Vergangenheit ins Gedächtnis zurückkehren.
Ähnliche Gedächtnis-Störungen treten auch bei der **ALZHEIMER-Krankheit** auf



Die Stunde

Über Ihre Herkunft wird immer wieder gestritten.
Sehr wahrscheinlich dürfte sie auf das ***KG*** zurückgehen; das in dieser Zeit mit Information voll aufgefüllt ist
Damit die alte Information gegenüber neuerer gefestigt werden kann, ist eine Pause notwendig
Bereits MARTIN LUTHER (1483 - 1546) bezeichnet die Stunde als ein ***vernünftiges Maß für die Predigt***
Vielleicht gar kein so schlechter ***Witz***: Ein Professor darf über alles reden, nur nicht über eine Stunde
Sehr wahrscheinlich ist sie ursprünglich durch das Leben in den Klöstern entstanden
Erstes Kloster: „Cönebitentum“ entstand um 320 n.Chr. in Pachomius, thebetische Wüste Ägyptens.
Für Mönche ist die zweiteilig: Gebetsstunden (hora) für Unterbrechung der Arbeit.
Dazu gab es vielfältige, komplizierte und streng einzuhaltende Maßnahmen
Noch lange nach den Kirchturmuhren (ab 1280) gab es

alte „Temporalstunden“ = „kanonische Stunden“ ⇔ „bürgerliche Stunden“

Nur in der Astronomie + Kalenderangaben existierte die exakte Stunden „horae aequinoctiales“

Langzeit-Gedächtnis (LG)

LG = Dauer- ≈ tertiäres ≈Alt- ≈ Permanent-Gedächtnis ≈ Engramm (LZG, LTS)
Fakten und Inhalte sind hierin ***lebenslang*** gespeichert, können kaum mehr verloren gehen
Typisch sind u. a. Kennen des eigenen Namens, Fähigkeit zum Schreiben und Lesen
Aber der Zugriff kann (zeitweilig) ***nicht möglich*** sein.
Vor allem ***im Alter*** kehren bislang nicht mehr erinnerbare (verdeckte) ***Jugenderinnerungen*** wieder
Träume und ***REM-Phasen*** (rapid-eye-movement) ***unterstützen*** Speicherung im LG

Gespeichertes entspricht wahrscheinlich der hoch komplexen, aber stabilen ***Verschaltungen sehr vieler Neuronen***
Beim ***Lernen vergrößern*** sich morphologisch die Synapsen, teilweise werden auch ***Neue erzeugt***

Wahrscheinlich liegt so etwas wie eine ***assoziative Organisation*** vor.

Ein Teil der Verschaltung des LG ist z. T. ***genetisch*** bestimmt, zusätzlich wird es individuell verändert, wenn Neues wird erworben und erlernt wird.

Kapazität des LG

Ursprünglich wurde es sehr groß angenommen, heute unerwartet klein!
JOHN VON NEUMAN (1903 - 1957) berüksichtigte alle Verschaltungen, auch die genetischen:
Standardrezeptor (Neuron) 14 Bit/s aus × 10^{10} Nervenzellen × $2 \cdot 10^9$ s
ergab für die Kapazität eines 60-jährigen zu $2{,}8 \cdot 10^{20}$ Bit ($\approx 4 \cdot 10^4$ PByte)
Andere: $2{,}5 \cdot 10^{10}$ Neuronen × 15 Impulsen/s × 60-Jährigen → $7 \cdot 10^{20}$ Impulsen: 1 Impuls = 0,15 Bit → etwa 10^{20} Bit
Einfache Abschätzung: 10^{10} Neuronen × 10^4 Synapsen (= 1 Bit) → 10^{14} Bit (10 TByte)

Jetzt gültig (verbal) und vielfach belegt nur **10^6 – 10^8 Bit**
Erfasst werden: alle Fakten, meist fehlen Regeln, die viel mehr erzeugen lassen, als gespeichert ist.
Zusätzlich vorhanden ist das episodische, prozedurale und kontextbezogene Gedächtnis

KARL KÜPFMÜLLER (1897 - 1977) [22]: Lernen einer ***Sprache***: 50 000 Wörtern für Deutsch (= $1{,}5 \cdot 10^6$ Bit)
Für Satzbau zusätzlich $4 \cdot 10^5$ Bit + Rechtschreibung, Sprechen usw. $\approx 5 \cdot 10^6$ Bit
Spezialist: 10 Sprachen → $5 \cdot 10^7$ Bit. Zuständige Areale besitzen $5 \cdot 10^8$ Neuronen → 1 Bit = 10 Neuronen
⇒ ***Gesamter Kortex*** → **10^8 Bit**

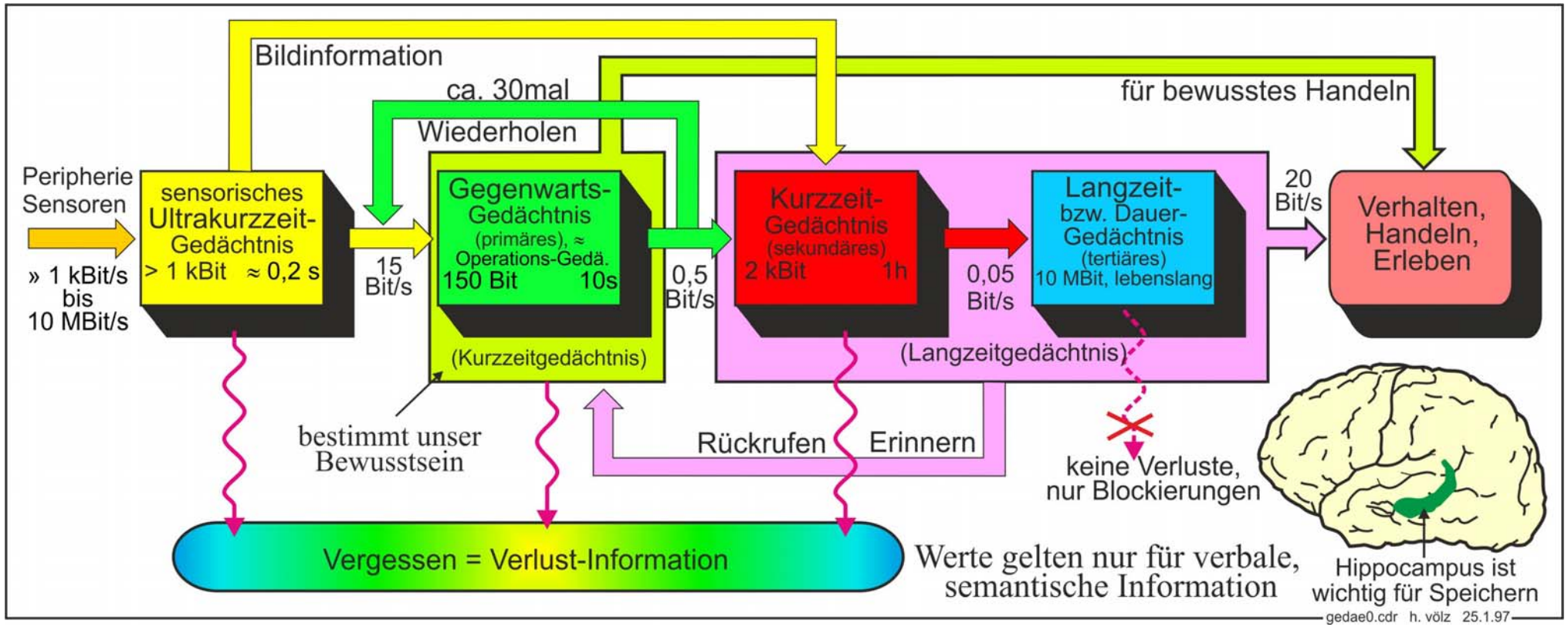
Kind lernt maximal 15 Wörter/Tag, 60-jährig theoretisch etwa 300 000 Wörter
Aus der ***Zuflussrate*** ≈0,05 Bit/s ergeben sich für 60-Jährigen ≤ **10 MByte**

HEINZ ZEMANEK (*1920) setzt maximal 50 Bit/s an und erhält mit 50 Jahren, bei 16 h/täglich $5 \cdot 10^9$ Bit (**≈600 MByte**)
Abschätzung über Spiel ***„Begriffe-Raten“*** = Ja-Nein.Fragen, Selbst extrem ausgefallener Objekte, z. B. der Schuh, mit dem NIKITA SERGEJEWITSCH CHRUSTSCHOFF (1894 - 1971) auf Tisch der Vereinten Nationen schlug, ist mit maximal 20 Fragen gewinnar: → 2^{20} **≈10^6 Bit**

Sensorisches Gedächtnis (SG)

Zum Speichern ***averbaler*** Informationen ist ***wenig bekannt***, sehr komplizierte Untersuchungsmethoden
Besonders stark ausgeprägt bei Tieren und Kindern
Erst etwa 1980 wurde vierter Gedächtnistyp bei ***Bildern*** gefunden, betrifft wahrscheinlich alle Sinnesreize.
Tritt meist bei allen ***komplexen Reizen*** auf, z. B. bei mehr als zehn Buchstaben (Chunk)
⇒ ***sensorisches, ikonisches, photographisches oder Ultrakurzzeit-Gedächtnis***
Existiert eventuell in den ***primären Sinnen*** und den primären corticalen Projektionsbereichen
Die Speicherzeit liegt bei etwa ***50 bis 200 ms***, könnte mit den Aktionspotentialen zusammenhängen
Für ***akustische*** Signale könnte die Speicherzeit ***deutlich länger*** sein
Informationen gelangen nicht ins GG sondern unmittelbar ins KG, bleiben daher ***unbewusst***
Unmittelbar nach dem Reiz können zuweilen 80 % der Information verbal benannt werden
Aktivität des SG ***bereitet*** offensichtlich die ***Codierung*** für KG vor, was ≈1 s dauert
Speicherkapazität ist kaum zu bestimmen, wird auf ***einige kBit*** geschätzt
Prinzipiell ist sie durch den ***Informationsfluss aller Sensoren*** auf ca. 10^7 Bit/s begrenzt
Daher ist eine große Reduzierung der Information notwendig ⇒ ***viele Handlungen erfolgen unbewusst***

Beim nächsten Bild ist auch ein Vergleich der biologischen Gedächtnisse hinzufgefügt



Biologische Gedächtnisse			
rein genetisch	immunbiologisch, egotrop	neuronal (Verhalten)	
	genetisch determiniert		individuell erworben
Erhaltung der Art, grundlegende Lebensprozesse	Schutz gegen externe Schadeinflüsse	Erbgedächtnis, z. B. Taxis, Reflex	Individualgedächtnis z. B. Lernen, Denken

GedächtnisseVar.cdr h. völz ca. 1999/09

Vergessen

Technische Speicher haben meist die Möglichkeit für Neuaufnahmen ***gelöscht*** zu werden.
Eine derartige Option gibt es offensichtlich bei den genetischen und neuronalen Speichern nicht.
Genetische Speicher besitzen beim Kopieren eine Fehlerrate um 10-5, die insbesondere ***Mutationen*** bewirkt.
Neuronale Speicher können bestenfalls durch Änderung der Verschaltung ***„umprogrammiert“*** werden.
Doch im Langzeitgedächtnis eigentlich wird kaum etwas vergessen, meist in nur der Zugriff (zeitweilig) gesperrt.
Gerade das ist der Grund, weshalb sich die Menschheit sehr ***ausführlich*** mit dem Vergessen beschäftigt.
Probleme und Vergehen müssen „aufgearbeitet“ werden. ***Sühne und Vergeben*** sind dabei wichtige Tätigkeiten.
Doch es gibt die Tragik des ***Nicht-Vergessen-Könnens***, u.a. in Märchen, Sagen und Anekdoten, bis zur ***Blutrache.***

Mit dem ***Alter nehmen die Fähigkeiten*** meist deutlich ab. Doch das kommt nicht vom Gedächtnis.
Lediglich die Leistung des ***Langzeitgedächtnisses*** kann jenseits von 60 Jahren leicht abnehmen.
Störungen durch Krankheit (***Alzheimer***) sind dabei etwas anders, betreffen aber primär das Kurzzeitgedächtnis.
Der Umgang mit diesem Menschen ist sehr schwierig. Das macht deutlich, wie wichtig unser Gedächtnis ist

Aus all den genannten Gründen haben schon sehr früh die Menschen Mythen für das Vergessen erfunden.
Kam ein Mensch in der ***Unterwelt*** an, musste er aus dem Fluss ***Lethe*** trinken, um alles Irdische zu vergessen. Der Strom schwemmt es unwiederbringlich fort.
HOMER (ca. 750 - 700 v.Chr.) 11 Gesang der ***Odyssee***: Odysseus in der Unterwelt:
Die Toten, denen er im Hades begegnet sind stumm; haben Sprache und Erinnerung verloren.

Später wurde das ***Kraut des Vergessens*** (Niezwurz) als falsches Hilfsmittel gepriesen.

Inzwischen sind Bestechung, Erpressung bis zur ***Gehirnwäsche*** (Folter) teilweise gebräuchlich.
Sie erfolgen u. a. durch pausenloses Verhör, grelles Licht, Terrorisierung durch Mitgefangene, Isolierung, Schlaf-, und Nahrungsentzug und illegale Drogen.

Eidetisches Gedächtnis

*griechisch **eidos*** Urbild, Gestalt, Aussehen, Wesen, Begriff, Idee; auch photographischen Gedächtnis

Einmalig kurz Wahrgenommenes (Bilder, Texte, Musik usw.) wird vollständig gespeichert und ist exakt abrufbar
Oft mit Halluzinationen verbunden, es gibt aber auch „ganz normale“ ***Menschen mit eidetischem Gedächtnis. z. B.:***

WOLFGANG AMADEUS MOZART (1756 - 1791). Im Kindesalter hörte er eine Messe zum ersten Mal und konnte sie danach zu Hause vollständig notengetreu aufschreiben.

Dirigent, Geiger **LORIN MAAZEL** (*1930) „sieht“ beim Dirigieren (geschlossene Augen) vollständig drei aktuelle Partiturseiten. Er konnte so alle neun Sinfonien BEETHOVENs an zwei Tagen mit drei Orchestern aufführen

20er Jahre: Ein **Schalterbeamte am Schlesischen Bahnhof** Berlins (heute Ostbahnhof) kannte unmittelbar nach Erscheinen des neuen Fahrplan der gesamten Reichsbahn vollständig auswendig, wies umgehend auf Mängel hin

Es gibt viele weitere Beispiele

Nach Entfernung eines 2,5 cm großen Hypophysen-Tumors (zentrales Hormonorgan) hatte ich für zwei Tage Zugriff auf ein „eidetisches“ Gedächtnis: Am dritten Tag nach der Operation las ich relativ kurz in der Fachzeitschrift Elektronik. Als ich mich einige Stunden später niederlegte, die Augen schloss, sah ich deutlich viele Seiten aufgereiht und konnte in ihnen lesen. Notwendig war allerdings, dass Licht von ≈300 Lux auf meine geschlossenen Augenlider fiel. Rekonstruiertes Bild folgt. WeitereDetails: horstvoelz.de/ PDF sonstige/Hypophysen.pdf

Chips 2020
Leistung ohne Lücken
Visionäre Produkte für den „mobilen Menschen"
Ein europäischen 21. Jahrhundert?
Mobile Agenten – die nützlichen „Computerviren"
Gesicherter Umschlagplatz

Emotionales Gedächtnis

lateinisch ***motionis*** Bewegung, etwa Gefühlsregung:

1. Art und Weise, wie Angst, Furcht die Gedächtnis-Bildung beeinflussen, meist im Sinne von Konditionierung (klassischer, bedingter Reflex), ermöglicht Zuordnung zu Priming
2. Bewusste Erinnerung von Emotionen, teilweise Zuordnung zum episodischen Gedächtnis, meist werden positiven Emotionen, wie Freude nicht einbezogen.

Es steht oft im Zusammenhang mit Erinnerung an ***Gerüche*** und besonders ***intensive Erlebnisse***

Todes-Gedächtnis

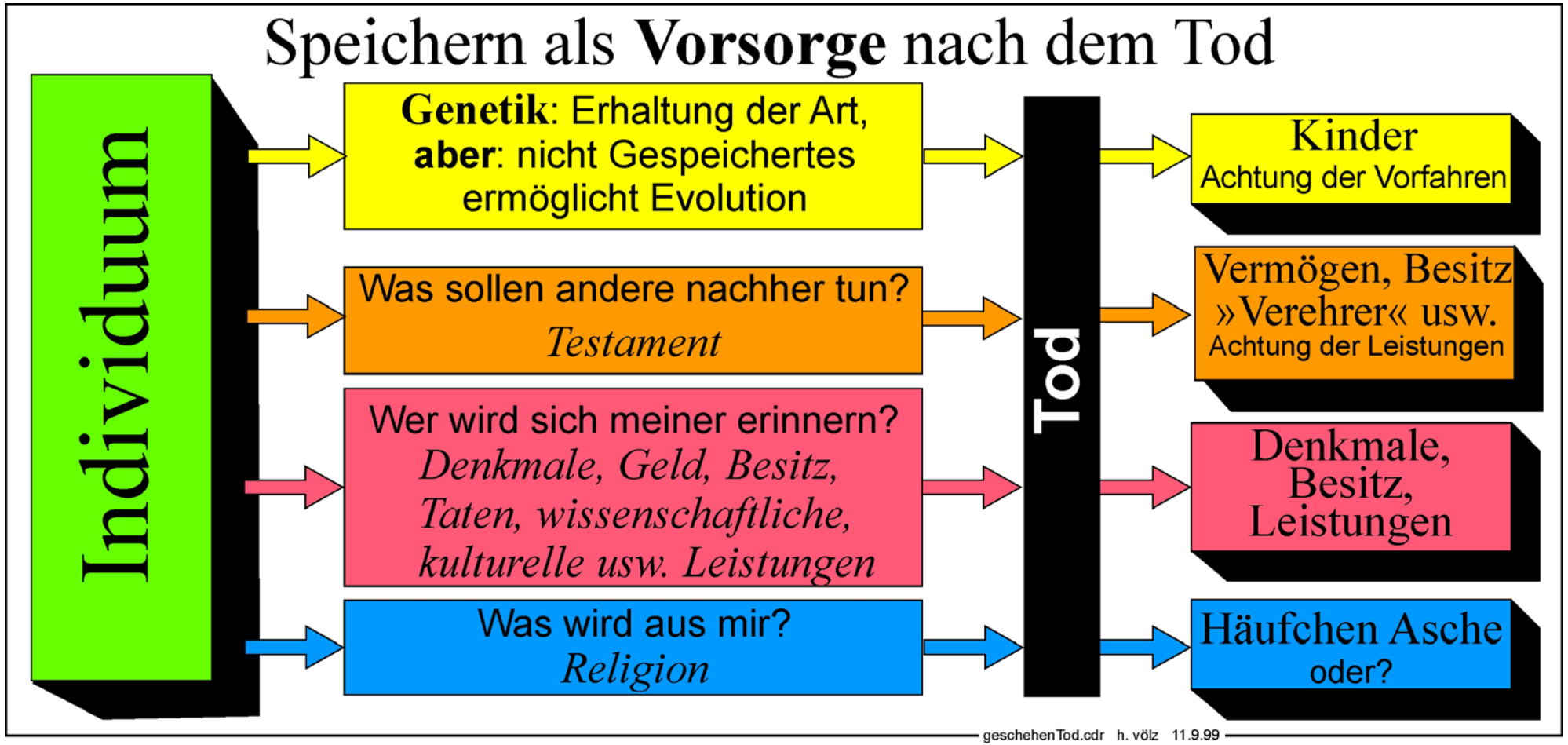
Gilt seit einigen Jahren sehr wahrscheinlich als real. Es tritt kurz vor dem Tode in Erscheinung und lässt dann wesentliches Geschehen des eigenen Lebens in Zeitraffer ablaufen
Wird von Personen mitgeteilt, die im letzten Augenblick gerettet wurden:

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 vergessen 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 vergessen 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.

Gedächtnis für Tote

Der Mensch hat Sorge, was nach seinem Tode aus ihm wird.
Deshalb schuf er viele Varianten, damit sich die ***Nachwelt seiner erinnert***. Einige zeigt das Bild
Vielleicht folgt daraus auch die Frage, ob hiermit der Glaube an die Wiedergeburt zusammenhängt.



Lernen

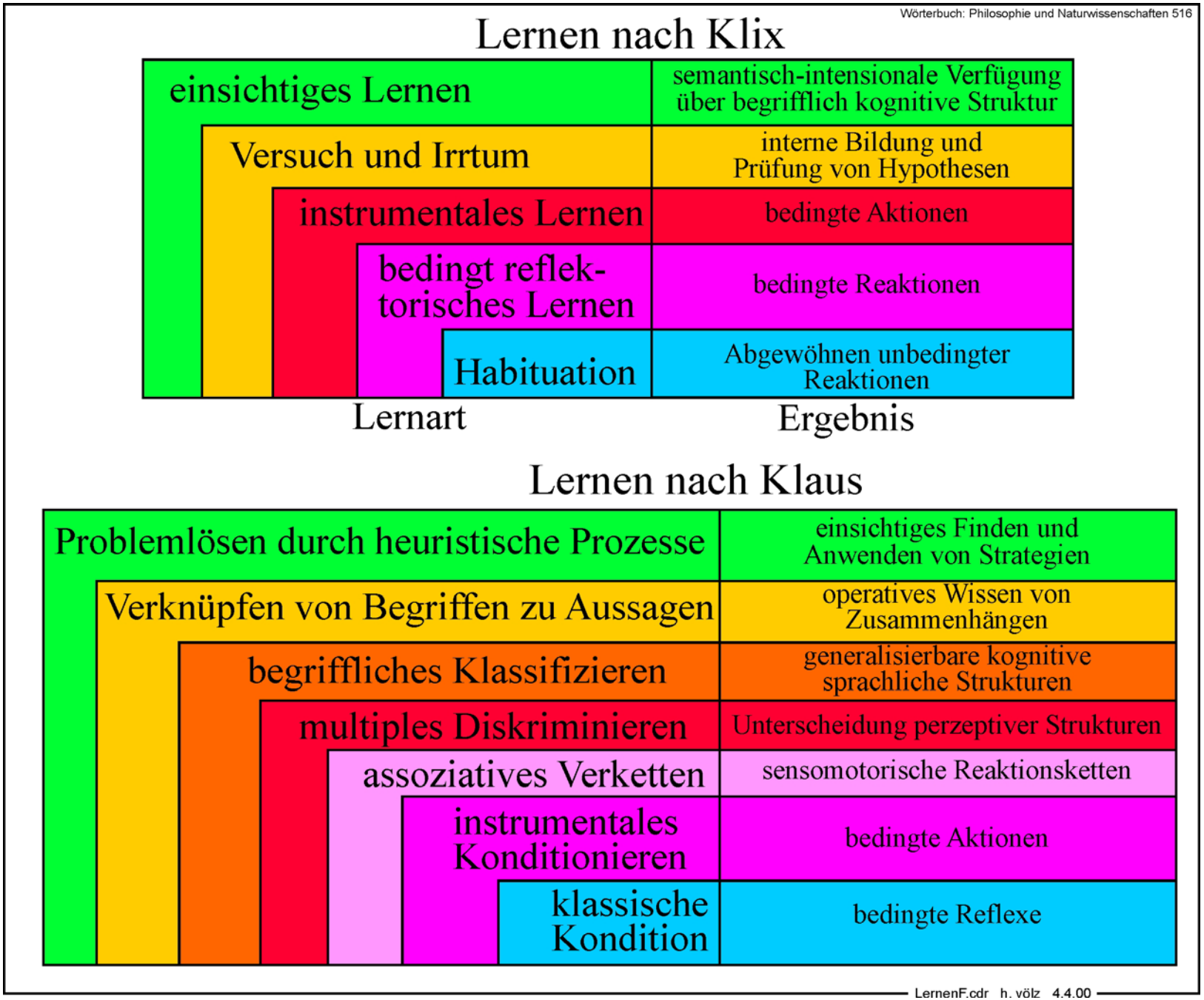
Lernen bedeutet, dass Information zu stabilem Wissen in unserem Bewusstsein gespeichert wird.

Das kann offensichtlich nur über die drei Stufen unseres Gedächtnisses erfolgen.

Hierzu gibt es mehrere Theorien. Es seien zwei stark gekürzt aufgelistet.

KLIX: [20] und

CUBE: [17]



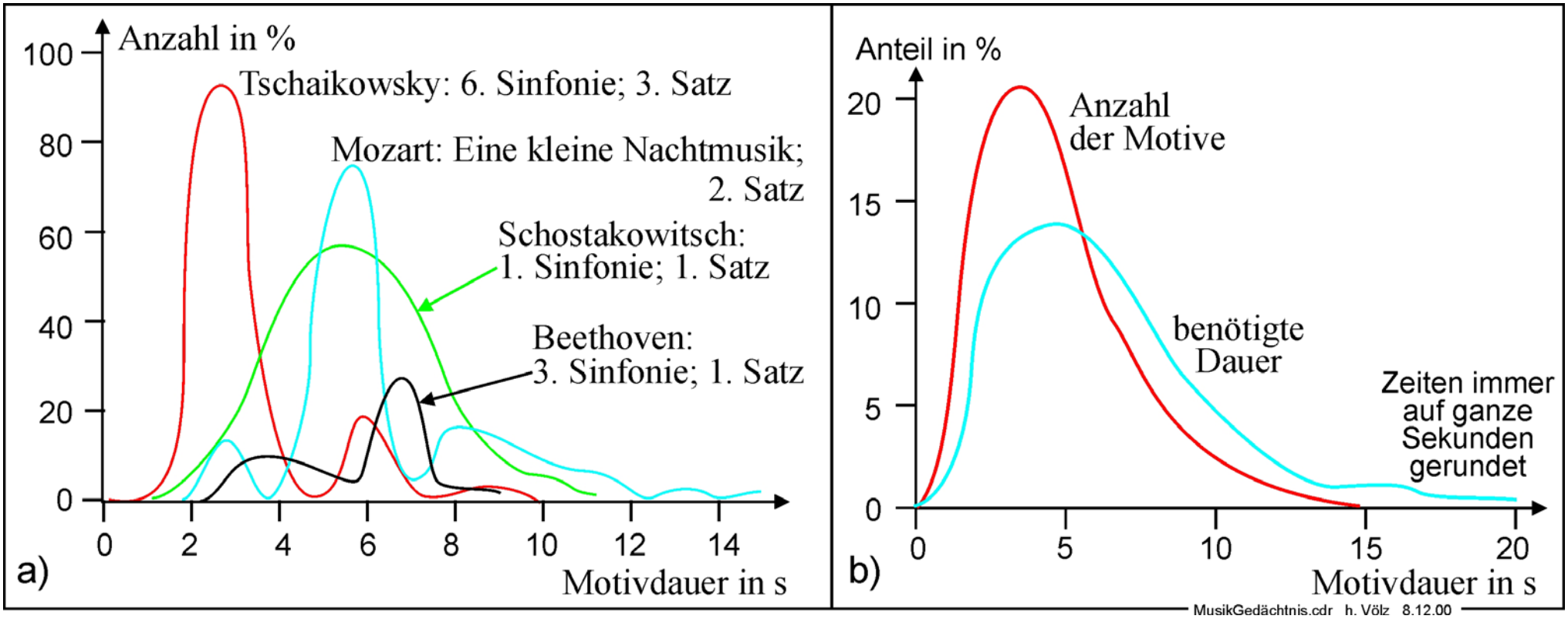
Versuch mit klassischer Musik

An der Musikkochschule Hanns Eisler Berlin unternahm ich mit WOLFRAM HEICKING (*1931) und MANFRED NITSCHKE hierzu Untersuchungen an klassischer Musik.
Hörer können nämlich bei einiger Erfahrung problemlos Musik aller europäischen Epochen mit Genuss rezipieren.
Zunächst stellten wir fest, dass der klassische Sonatensatz in etwa 30mal (in variierter Form) das Thema wiederholt.
Das erfordert der Übergang vom Gegenwarts- ins Kurzzeitgedächnis.
Es ist nur die eine größere Abweichung des Boleros von JOSEPH MAURICE RAVEL VON 1928 bekannt.
Der lange thematische Ablauf (45 s) wird demonstrativ mit wechselnder Instrumentierung nur 21mal wiederholt.
Wir kamen zur Ansicht dass der klassischen Komposition generell Gemeinsames zu Grunde liegen muss.
Es wurden die folgenden 35 Kompositionen von 24 Komponisten ausgewählt um dann die bei ihnen vorkommenden Zeitdauern der Motive und ihrer Variationen gemessen [26]:

J. S. Bach	1685 - 1750	D-Dur Suite, Air
Ch. W. Gluck	1714 - 1787	Ballettmusik „Reigen seliger Geister“ 1. Thema; Orpheus und Eurydike
W. A. Mozart	1756 - 1791	Ouvertüre „Die Hochzeit des Figaro
		Ouvertüre „Don Giovanni“
		Eine kleine Nachtmusik, 1. Satz
		Eine kleine Nachtmusik, 2. Satz
L. v. Beethoven	1770 - 1827	Romanze F-Dur für Violine und Orchester
		Sinfonie Nr. 3; 1. Satz
		Sinfonie Nr. 3; 2. Satz
C. v. Weber	1786 - 1826	Ouvertüre „Der Freischütz“
F. Schubert	1797 - 1828	Musik aus Rosamunde
		Scherzo B-Dur

H. Berlioz	1803 - 1869	Faust‘s Verdammung, Marsch
R. Schumann	1810 - 1856	Aus den Kinderszenen die „Träumerei“
R. Wagner	1813 - 1883	Vorspiel 3. Akt z. Oper „Lohengrin“
		Tannhäuser-Ouvertüre
		„Die Meistersinger von Nürnberg“, Vorspiel
A. Bruckner	1824 - 1896	Sinfonie Nr. 6; 1. Satz
J. Strauß, Sohn	1825 - 1899	Kaiserwalzer
		Ouvertüre „Die Fledermaus“
J. Brahms	1833 - 1897	Sinfonie Nr. 1; 4. Satz
M. Musorgski	1839 - 1881	Eine Nacht auf dem kahlen Berge
P. I. Tschaikowski	1840 - 1893	Serenade für Streicher, Walzer
		Sinfonie Nr. 5; 1. Satz
		Sinfonie Nr. 6; 3. Satz
R. Strauß	1864 - 1949	Till Eulenspiegels lustige Streiche
A. Scrjabin	1871 - 1915	Prelude Nr. 13a; Opus 11
M. Ravel	1875 - 1937	Bolero
B. Bartok	1881 - 1945	Klavierkonzert Nr. 3; 2. Satz
I. Stravinski	1882 - 1971	Ballett-Suite „Petruschka“; 1. Satz
P. Hindemith	1895 - 1963	„Niblissima Visione“; Marsch u. Pastorale.
		Sinfonia Serena; 1. Satz
D. Schostakowitsch	1906 - 1975	Sinfonie Nr. 7; 1. Satz
R. Zechlin	1926	Violinkonzert; 1. Satz
G. Kochan	1930	Klavierkonzert; 2. Satz

Das Ergebnis zeigt an einigen Beispielen das folgende Bild.

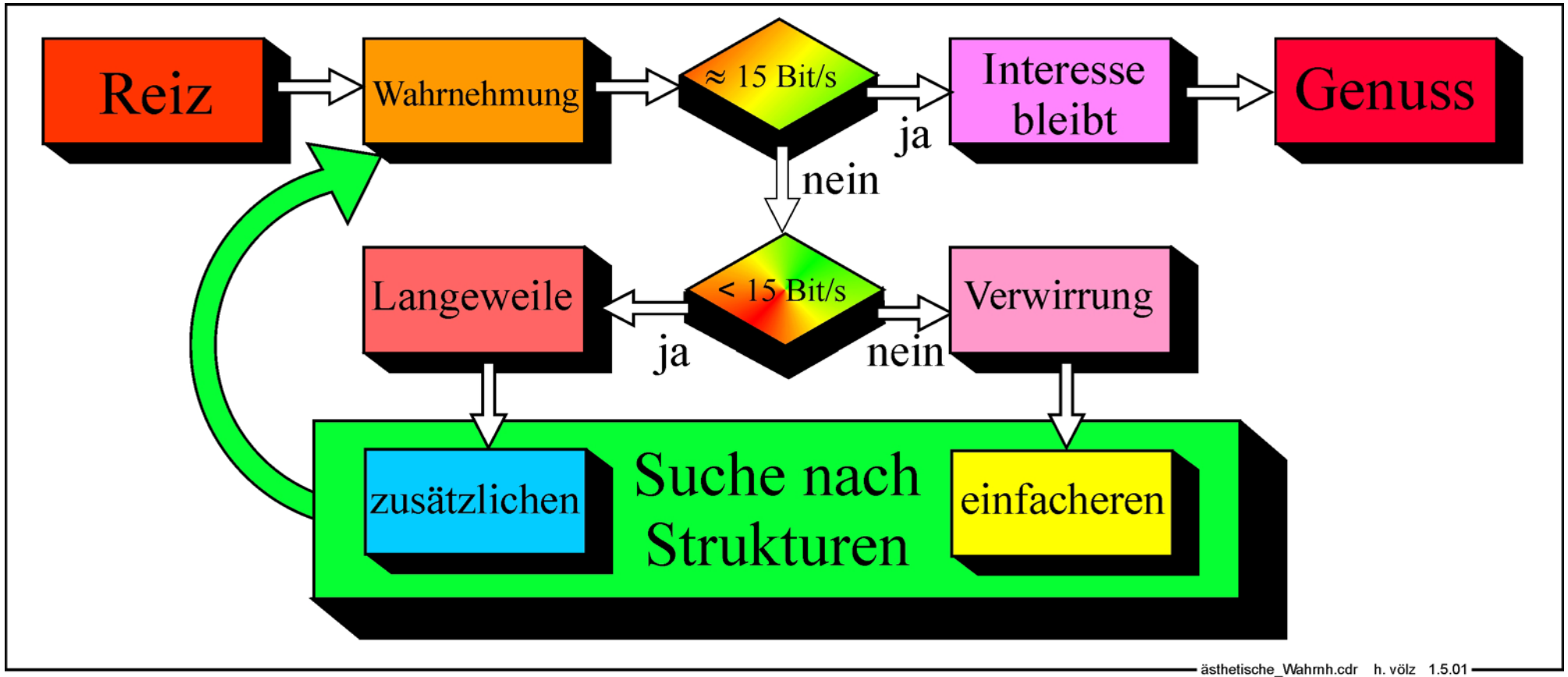


Für uns war es zunächst erstaunlich, dass im Mittel 5 s, statt der 10 s des Gegenwartsgedächtnisses (GG) auftraten.
Doch nach längerer Überlegung zeigt sich die Erklärung durch eine 3 Stufentheorie des Lernens:
Für die aktuell erklingende Musik wird nur das halbe Gegenwartsgedächtnis benutzt.
Die andere Hälfte holt sich aus dem Langzeitgedächtnis Musik zum Vergleich.
Dabei treten nacheinander drei Stufen des Erlebens von Musik auf.

3-Stufentheorie des Lernens

Phase	Wirkung	Beispiele
Verwirrung	Informationsflut ist zu groß, keine merkliche Rezeption möglich	Erleben von Neuem Musik aus unbekanntem Kulturkreis.
Wieder erkennung	Einige Strukturen sind erkannt und werden wieder erkannt. Das bereitet Genuss	Klassen und Begriffsinhalte werden gebildet; klassikgewohnter Hörer rezipiert unbekanntes Werk der Klassik.
Analytische Phase, Strukturierung	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 THEODOR ADORNO (Wiesengrund, 1903 – 1969) [27]

Später zeigte sich, dass diese Theorie wahrscheinlich universell gilt
Anschaulicher macht dies das folgende Bild



Wir haben offensichtlich das Bedürfnis immer die 15 Bit/s für das Gegenwartsgedächtnis zu erhalten.
Ist der Zufluss geringer, dann kommt Langeweile auf und es werden zusätzliche Informationen gesucht.
Ist der Zufluss zu groß, so finden kaum etwas Erkennbares, Verwirrung setzt ein.
In der Information wird nach „Einfacherem“ gesucht, oft erfolgreich mit neuen Erkenntnissen.
Dies Prinzip beschreibt 1947 z. B. THOMAS MANN (1875 - 1955) im „Doktor Faustus: Das Leben des deutschen Tonsetzers Adrian Leverkühn“ bzgl. der ***Zwölftonmusik*** (serielle Technik). Leverkühn an seinen Freund:

Zur Zwölftonmusik

„Es geht auch so einfach nicht. Man müsste alle Techniken der Variation, auch die als künstlich verschrienen, ins System aufnehmen, also das Mittel, das einmal der Durchführung zur Herrschaft über die Sonate verhalf. Ich frage mich, wozu ich so lange unter Kretzschmar die alten kontrapunktischen Praktiken geübt und so viel Notenpapier mit Umkehrungsfugen, Krebsen und Umkehrungen des Krebses vollgeschrieben habe. Nun also, all das wäre zur sinnreichen Modifizierung des Zwölftönewortes nutzbar zu machen. Außer als Grundreihe könnte es so Verwendung finden, dass jedes seiner Intervalle durch das in der Gegenrichtung ersetzt wird. Ferner könnte man die Gestalt mit dem letzten Ton beginnen und mit dem ersten schließen lassen, dann auch diese Form wieder in sich umkehren. Da hast du vier Modi, die sich ihrerseits auf alle zwölf verschiedenen Ausgangstöne der chromatischen Skala transponieren lassen, so dass die Reihe also in achtundvierzig verschiedenen Formen für eine Komposition zur Verfügung steht, und was sonst noch für Variationsscherze sich anbieten mögen. Eine Komposition kann auch zwei oder mehrere Reihen als Ausgangsmaterial benutzen, nach Art der Doppel- und Tripelfuge. Das Entscheidende ist, dass jeder Ton darin, ohne jede Ausnahme, seinen Stellenwert hat in der Reihe oder einer ihrer Ableitungen. Das würde gewährleisten, was ich die Indifferenz von Harmonik und Melodik nenne.“

„Ein magisches Quadrat“, sagte ich. „Aber hast du Hoffnung, dass man das alles auch hören wird?“

„Hören?“ erwiderte er. „Erinnerst du dich an einen gewissen gemeinnützigen Vortrag, der uns einmal gehalten wurde, und aus dem hervorging, dass man in der Musik durchaus nicht alles hören muss? Wenn du unter ‚Hören‘ die genaue Realisierung der Mittel im einzelnen verstehst, durch die die höchste und strengste Ordnung, eine sternensystemhafte, eine kosmische Ordnung und Gesetzlichkeit zustande kommt, nein, so wird man's nicht hören. Aber diese Ordnung wird oder würde man hören, und ihre Wahrnehmung würde eine ungekannte ästhetische Genugtuung gewähren.“

Kreativität

Lateinisch ***kreativ*** schöpferisch, Ideen habend u. diese gestalterisch verwirklichend

Menschen besitzen kreative Fähigkeiten. Das Neue muss dazu bewusst oder unbewusst im Gehirn entstehen.
Daher ist ein Vergleich mit den Datenraten der Gedächtnisstufen zumindest interessant.
Ausführliche Untersuchungen an vielen Beispielen habe ich in [25] 280 ff. und [11] 459ff. durchgeführt.
Hier referiere ich nur die Ergebnisse. Es müssen dazu 2*3 drei Arten unterschieden werden

- **subjektive K.**: Ich empfinde, spüre, dass ich etwas Neues gefunden habe, z. B. Aha-Moment
  Jeder freut sich über eine Idee, selbst wenn sie „nur“ den Haushalt oder das Basteln betrifft
- **objektivierte K.**: Das Kollektiv erkennt meine Idee an. Häufig wird sie jedoch mittels ***Killerphrasen*** abgelehnt, denn sie kann für andere frustrierend sein, da sie umdenken müssten. Das geschieht besonders bei Kindern.
- **absolute K.**: Die Idee wird international akzeptiert, z. B. anerkannte Publikation, Patent oder Nutzung.

Ferner sind Menschen unterschiedlich kreativ, die Ursachen wenig bekannt. Daher sind zwei ***Extremfälle*** wichtig:

- **gemittelte K.**: Annahme: alle Menschen sind gleich kreativ. Heutiges Weltwissen wird geteilt durch Anzahl aller Menschen, die gelebt haben. So ergibt sich typischer Mittelwert für jeden Menschen
- **maximale K.**: Es gibt hoch kreative Menschen, wie EINSTEIN oder EDISON. Ihre Lebensleistung ist abschätzbar.

So ergibt sich die folgende Tabelle, leider mit einer Unsicherheit eines Faktors um 100.

Typische Kreativitätsraten des Menschen

Werte in Bit/s	subjektiv	objektiviert	absolut
maximal grober Richtwert	$10^{-6}...10^{-2}$ 1 Bit/Stunde	$10^{-7}...10^{-3}$ 1 Bit/Tag	$10^{-8}...10^{-7}$ 1 Bit/Jahr
gemittelt grober Richtwert	$10^{-4}...10^{-3}$ 1 Bit/Tag	$10^{-6}...10^{-5}$ 1 Bit/Woche	$10^{-9}...10^{-8}$ 1 Bit/Leben

Trotz der großen Unsicherheit stimmen die Werte gut mit Erfahrungen beim ***Programmieren*** überein
Im zeitlichen Mittel über ein größeres Projekt werden nur ***3 gültige Zeilen/Stunde*** erreicht
Spitzenprogrammierer erreichen zwar vorübergehend 200 Zeilen/Stunde, manchmal aber keine Zeile/Tag

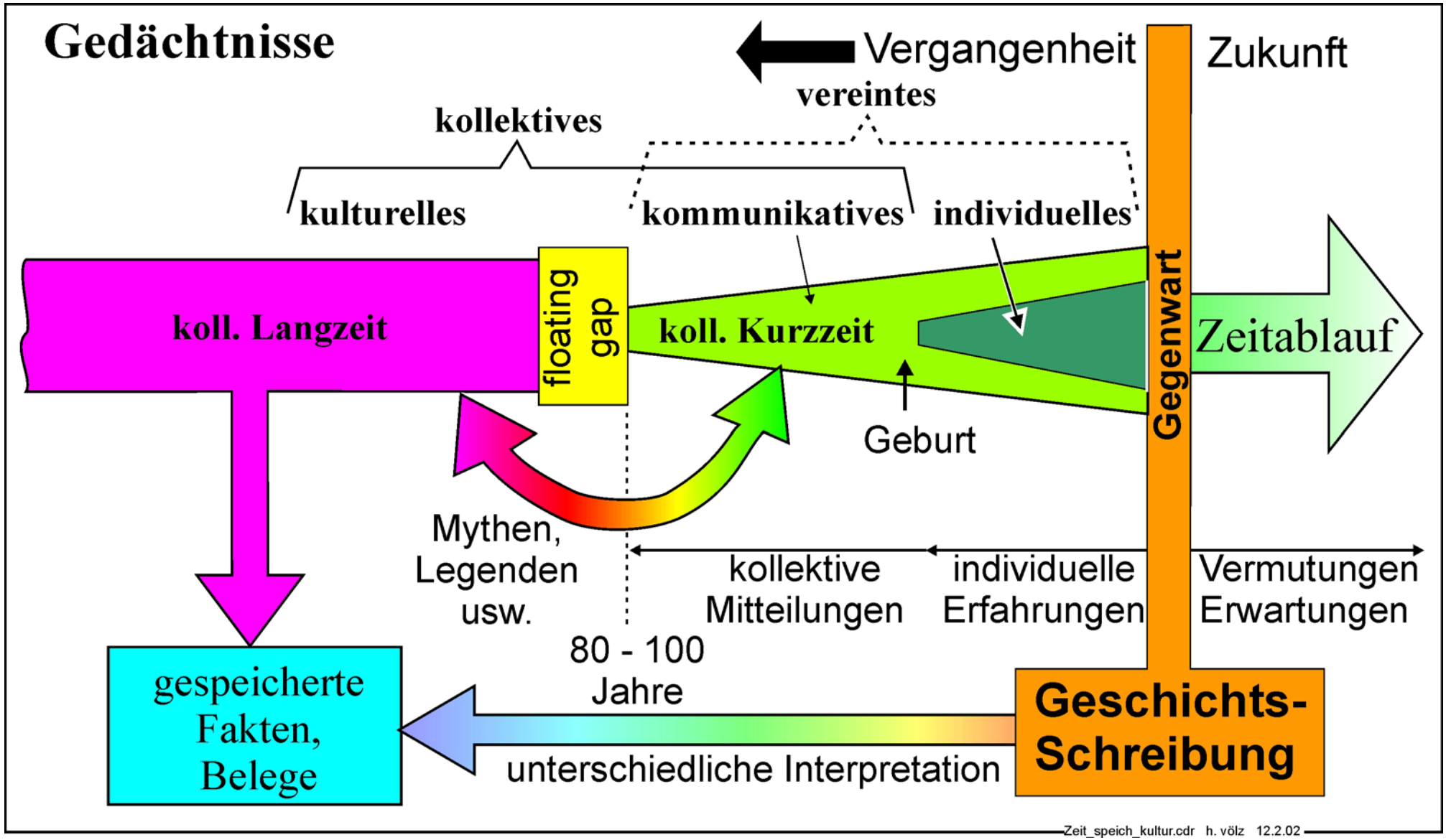
Die biologische Evolution ergibt über Jahrmillionen ein Zuwachs an Genen von 10^{-10} bis 10^{-8} Bit/s.
Obwohl die beteiligten Individuen viele Zehnerpotenzen größer war, liegt er sehr deutlich unter dem der Menschheit.

Kollektive Gedächtnisse

Wirken mehrere Individuen zusammen, so kann dabei mehr Information zu Verfügung stehen.
Dabei gilt außerdem: ***Das Ganze ist mehr als die Summe ihrer Teile***
Erstmalig tritt so etwas bei Tiergemeinschaften, z. B. ***staatenbildenden Insekten*** auf
Meist kennt dann jedes Individuum nur Teile des Ganzen. Das entspricht ***Arbeitsteilung und Spezialisierung***
Besonders intensiv trifft das natürlich für die Menschheit zu und prägte u.a. die ***menschlichen Gesellschaft***
Besonders deutlich aber die Kultur und Zivilisation, u.a. durch Traditionen, Mythen, Religionen, Rituale, künstlerische und wissenschaftliche Schulen und geistige Bewegungen
Negative Folgen sind am ***Fließband bei den Mängeln der*** Montags- und Freitags-Produktion, sowie dem Ausfall eines ***Spezialisten zu spüren***
Als Folge entstehen „neue Gedächtnisse“, welche unterschiedlich individuelle Gedächtnisse integrieren u.a.
Dabei werden meist zwei Hauptvarianten genannt [28]:

Vergleich der beiden Hauptvarianten

	kommunikatives Gedächtnis	**kulturelles Gedächtnis**
Inhalt	Erfahrungen individueller Biographien	mythische Urgeschichte, “wichtige“ Ereignisse in einer absoluten Vergangenheit
Formen	informell, wenig geformt, naturwüchsig, entstehend durch Interaktion, Alltag	gestiftet, hoher Grad an Geformtheit, zeremonielle Kommunikation, Feste, Riten
Medien	lebendige Erinnerung in individuelle Gedächtnissen: Erfahrungen und Hörensagen	traditionelle symbolische Kodierung/Inszenierung in Wort, Bild, Tanz usw.
Zeitraum	80 - 100 Jahre, mitwandernder Zeithorizont von 3 - 4 Generationen → **Floating gap** [28]	absolute Vergangenheit einer mythischen Urzeit, Religionsgründer usw.
Träger	unspezifisch, Zeitzeugen einer Erinnerungs-Gemeinschaft	spezialisierte Traditionsträger Geistöliche usw.


Gedächtnisse
Vergangenheit
Zukunft
vereintes
kollektives
kulturelles
kommunikatives
individuelles
koll. Langzeit
floating gap
koll. Kurzzeit
Gegenwart
Zeitablauf
Geburt
Mythen, Legenden usw.
kollektive Mitteilungen
individuelle Erfahrungen
Vermutungen Erwartungen
80 - 100 Jahre
gespeicherte Fakten, Belege
Geschichts-Schreibung
unterschiedliche Interpretation
Zeit_speich_kultur.cdr h. völz 12.2.02

Gedächtnis der Geschichte

Hier werden nur ***schriftliche (gespeicherte) Fakten*** anerkannt.
Sie wurden jedoch (fast) nur von den ***jeweils Herrschenden angelegt.***
Daher müssen in jeder neuen politischen Situation ***neu interpretiert*** werden [29]

	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 wegnehmend	interpretierend, erklärend
Aussage	wortgetreu	wahrheitsgemäß
Emotionalität	heiß, anmutend, erzählend	kalt, sachlich, wissenschaftlich

Einen Überblick und eine Abgrenzung bezl. der gesellschaftlichen Gedächtnisse zeitg das folgende Bild

Gesellschaftliche Gedächtnisse
Verteiltes
Totales aktuelles Wissen einer Gesellschaft
Kulturelles
Weit entfernte Vergangenheit
vor allem durch Mythen
übermittelt und durch Riten
immer neu aktualisiert
Floating gap
Kommunikatives
Gegenwart, nahe Vergangenheit
Wissen der Gemeinschaft, wie es von
einem Einzelnen gesehen wird und
ihm meist erreichbar ist
Indviduelles
Gegenwart
in jedem Menschen
zumindest teileweise
unterschiedlich vorhanden
Kollektives
Erlebtes, Kommuniziertes, Mythen und Riten
Geschichtliches
(Wissenschaftlich fundierte) Herleitung aus Fakten
Gedächtnis1.cdr h. Völz 25.8.09

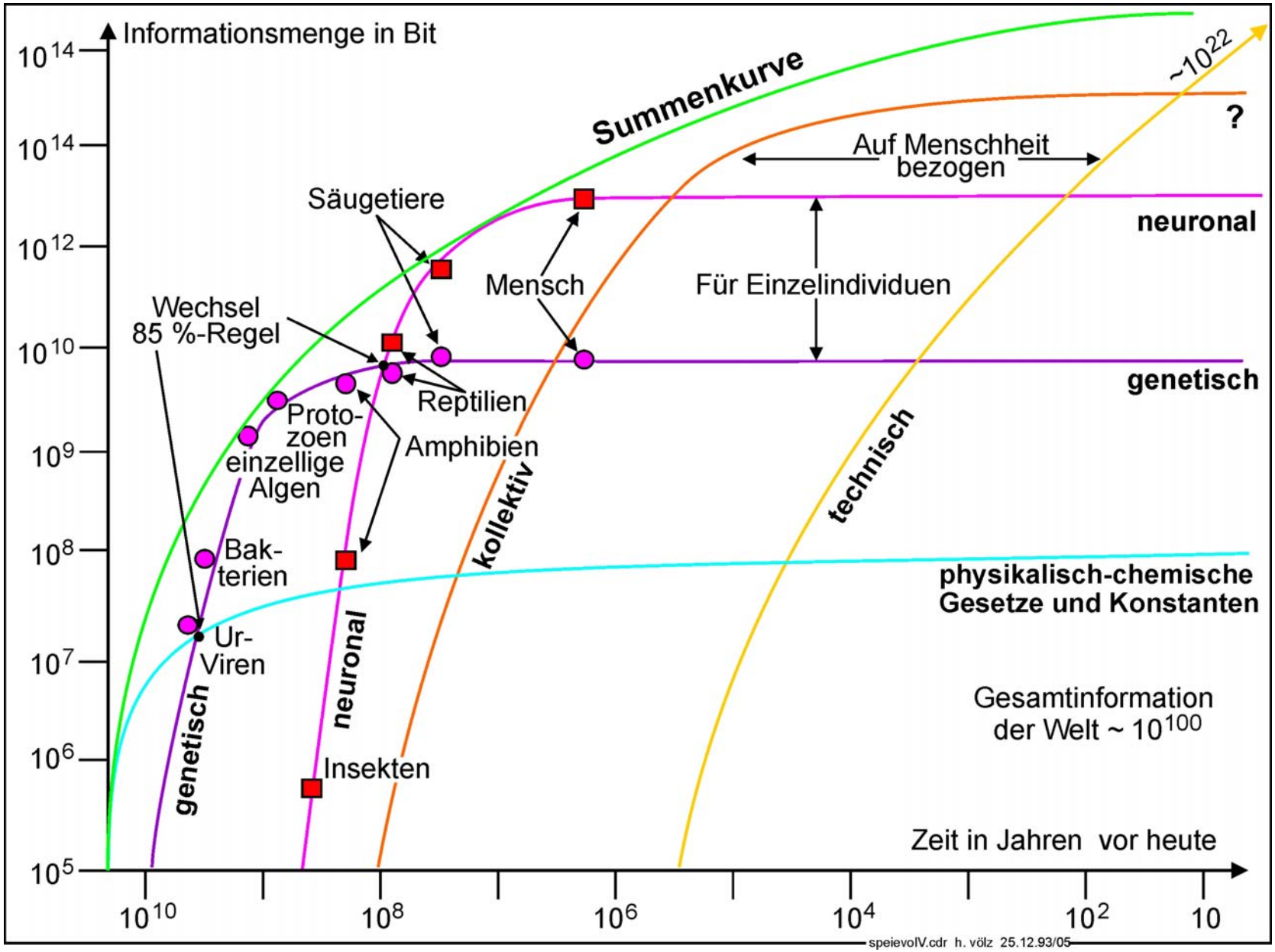
Meme

sie wurden u.a. von BLACKMORE in Analogie zu den Genen für die Gesellschaft eingeführt.
Hier folgt nur eine Gegenüberstellung

	Gene	**Meme**
Substrat, Träger	DNS, Doppelhelix	vereintes Gedächtnis (individuell)
Vervielfachung	Zellapparat	Nachahmung (technische Speicherung)
Wirkung	Art-Erhaltung, Prozesse des Lebens	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; „Fehler“-Rate 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	Gemäß DARWIN Bewährtes	Gemäß LAMARCK Erworbenes

Kapazitätsentwicklung aller Informationsspeicher

Im folgenden Bild ist der Versuch unternommen die erreichten, erreichbaren Informationsmengen abzuschätzen
Im Laufe der Erdgeschichte ist dabei ein ständiges Wachsen eingetreten.
Auffällig ist dabei jedes Prinzip eine Sättigung erreicht.
Typisch entsteht bei Erreich von 85% des möglichen Endwertes ein neues Prinzip
Dieses Prinzip hat sich ebenfalls viele Hundertmal in der Technik gezeigt [ ].
Dort wird wird vermutet, dass es intuitiv dem Managern effektiver erscheint,
ein enues Verfahren zu entwickeln als das bekannte bis vol an die Grenze auszufahren.
Wie das auf die Evolution übertragen werden kann ist aber unklar.
In diesem Sinne wurden von mir die Kurven für kollektive und technisch Speicher sehr abgeschätzt eingetragen.


Informationsmenge in Bit
10^{14}
10^{14}
10^{12}
10^{10}
10^{9}
10^{8}
10^{7}
10^{6}
10^{5}
Summenkurve
~10^{22}
?
Auf Menschheit bezogen
Säugetiere
Mensch
neuronal
Für Einzelindividuen
Wechsel 85 %-Regel
genetisch
Reptilien
Amphibien
Proto-zoen
einzellige Algen
kollektiv
technisch
Bak-terien
physikalisch-chemische Gesetze und Konstanten
Ur-Viren
neuronal
genetisch
Gesamtinformation der Welt ~ 10^{100}
Insekten
Zeit in Jahren vor heute
10^{10}
10^{8}
10^{6}
10^{4}
10^{2}
10
speievolV.cdr h. völz 25.12.93/05

Versuch zu Entsprechungen

Das Axon eines Neurons entspricht einem Kabel, das die Information ***von der Zelle zu Synapse leitet***. S-Information
Die Synapse mit der „Erfolgs-Zelle entspricht einem ***Transistor der gesteuert*** wird.
Die so erfolgende ***Verkopplung*** mehrerer Neuronen wirkt ähnlich wie ***2 Transistoren zum FlipFlop***
Erst ab hier liegen Speichermöglichkeiten vor.
Durch die ***komplexe Verschaltung vieler Neuronen*** entstehen so etwas wie ***Schiebe- und Umlaufspeicher***.
Die Verschaltung der ***extrem vielen Neuronen*** entspricht einem ***Schaltkreis mit Funktionsgruppen***.
So sind die ***verschiedenen Gedächtnisse*** zu verstehen.
Die ***ersten beiden Gedächtnisse*** besitzen nur eine ***kurze Speicherzeit***
Erst das ***Langzeitgedächtnis*** ist für die ***dauerhafte*** Speicherung zuständig.
Alles zusammen bewirkt auch eine ***Datenverarbeitung*** und entspricht daher der V-Information.
Gesellschaftliche Speicher entsprechen annähernd ***Rechnersysteme*** mit deutlich höherer Leistung

Literatur

[1] Völz, H.: Zum Zusammenhang von Energie - und Speicherdichte bei der Informationsspeicherung. Internat. Elektron. Rundschau 16 (1967) 2, 41 - 44

[2] Schrödinger, E.: Was ist Leben. Franke, Bern 1951

[3] Lerner, A.: Grundzüge der Kybernetik. Verlag Technik, Berlin 1970

[4]Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 3 Geschichte und Zukunft elektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2007.

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

[6] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 1 - Grundlagen und Anwendung in Natur, Leben und Gesellschaft. Shaker Verlag Aachen 2003

[7] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 2 Technik und Geschichte vorelektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2005

[8] Engel, F.; Kuper, G.; Bell, F.: Zeitschichten: Magnetbandtechnik als Kulturträger. Erfinder-Biographien und Erfindungen, Polzer, Potsdam 2008

[9] Hamann, C.; Heim, J; Burghardt, H.: Organische Leiter, Halbleiter und Photoleiter. Vieweg, Braunschweig – Wiesbaden 1981

[10] Sikora, A.: Die Zukunft des Speichers; Elektronik 2000, H. 5, S. 66 ff. + H. 6. S. 52 ff.;

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

[12] Leon Chua: Memristor, the Missing Circuit Element, IEEE Transactions on Circuit Theory 1971, CT-18 (5) S.507 - 519

[13] Ernst, B.: Holografie - Zaubern mit Licht. Wittig-Fachbuch, Hückelhoven 1986/7

[14] Heiß., P.: Die neue Holografie-Fibel. 4. Aufl. Wittig-Fachbuch, Hückehofen 1995

[15] Ostrowski, J. I.: Holografie - Grundlagen, Experimente und Anwendungen. Harri Deutsch, Thun - Frankfurt/M. 1989
[16] Ebbinghaus, H.: Über das Gedächtnis. Dunker, Leipzig 1885
[17] Cube, F. von: Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens. Stuttgart 1965
[18] Frank, H.: Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. 2. Aufl. Bd. 1 + 2. Agis-Verlag Baden-Baden 1969
[19] Schneider, W.: Deutsch für Profis. Hamburg, 1991 S. 96 nach: c't (1993) 10, 45
[20] Klix, F.: Information und Verhalten. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1983 (1971).
[21] Neuman, J. v.: Die Rechenmaschine und das Gehirn. Oldenbourg, München 1965 (engl. Original 1958)
[22] Küpfmüller, K.: Informationsverarbeitung durch den Menschen. Nachrichtentechnische Zeitschrift 12(1959) 68-74
[23] Drischel, H.: Das neuronale Gedächtnis. Nova acta Leopoldina Band 37/1, Nr. 206. S. 325-353. J. A. Barth, Leipzig 1972
*[24] Dawkins, R.: Das egoistische Gen. Rororo, Reinbek bei Hamburg 1996
[25] Völz, H.: Information I - Studie zur Vielfalt und Einheit der Information. Akademie Verlag, Berlin 1982
[26] Völz, H.: Beitrag zur formalen Musikanalyse und -synthese. Beiträge zur Musikwissenschaft 17 (1975) 2/3, 127 - 154
[27] Adorno, Th. W.: Zur Metakritik der Erkenntnistheorie. Suhrkamp Taschenbuch 872, Frankfurt/M. 1990
[28] Assmann, J.: Das kulturelle Gedächtnis Beck, München, 1997
[29] Goff, J. L.: Geschichte und Gedächtnis. Ullstein, Berlin, 1999
[30] Blackmore, S.: Die Macht der Meme. Spektrum der Wissenschaft (2000) H. 12. S. 74