

### Eigenschaften des Speicherzustandes

1. Irreversibel; ROM-Charakter
2. Reversibel; Disketten-Charakter
3. Dynamisch; dRAM-Charakter

### 1. und 2. Verlangen physikalisch:

- Nichtlinearität  $\Leftrightarrow$  physikalische Irreversibilität
- Metastabilität  $\Leftrightarrow$  Energieschwelle  $\Leftrightarrow$  thermische Energie begrenzt

### Energien für Speicherzustand

- **Statisch**; mechanisch (Strukturen); elektrisch (Elektret, Kondensator); Magnetisch (Dauermagnet); supraleitend (?); chemisch (Biologie)
- **Dynamisch**: fließender Strom, elektromagnetische Welle (u.a. Licht), akustisch (Oberflächenwellen); thermische Energie (?); chemisch (neuronal)

Es sind also zu unterscheiden:

1. Funktionell notwendige Energie
2. Zusatzenergie bei dynamischen Speicher

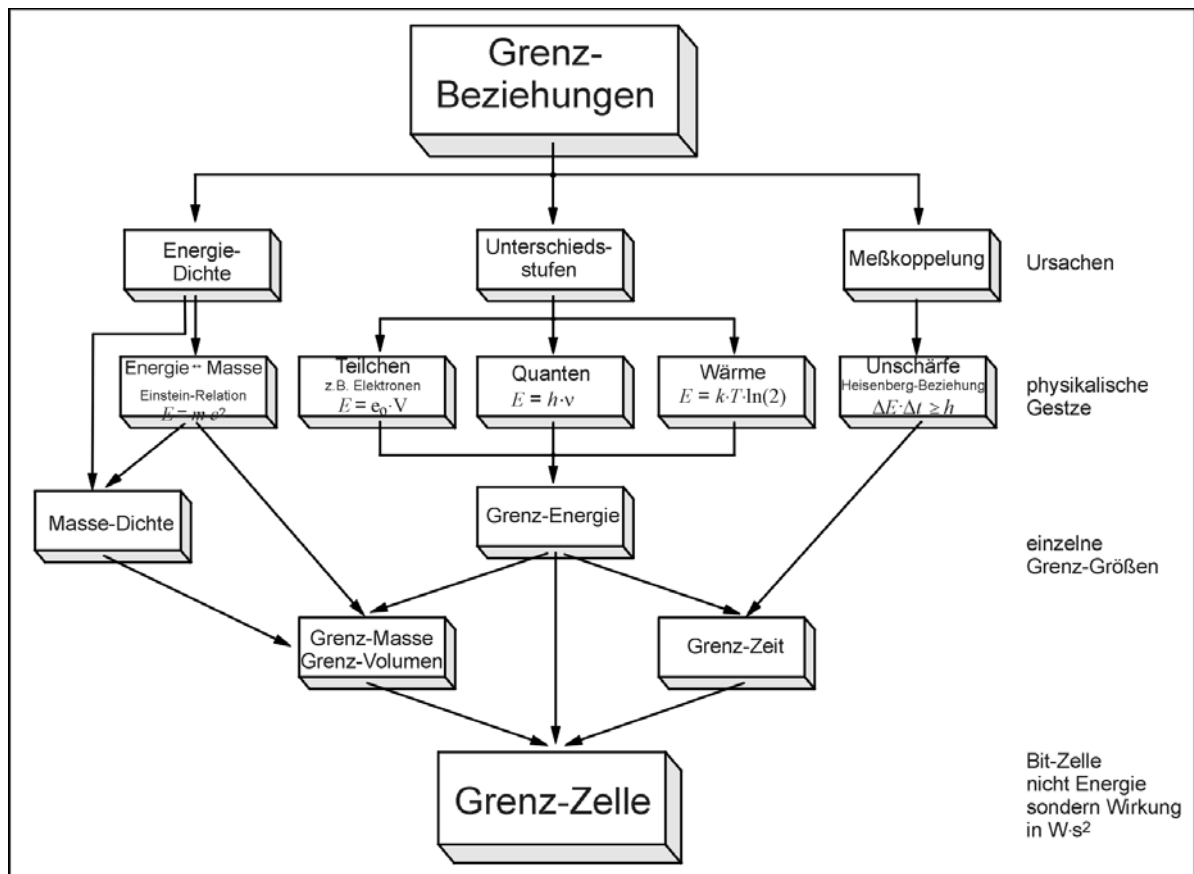
### Grenzen der Speicherung

#### Physikalisch

- Energiedichte des Speichermediums (klassisch  $0,5 \text{ J/cm}^3$ )
- Energiekonzentration: bei Aufzeichnung (optisch  $\Rightarrow$  Beugungsvolumen)
- Meßgrenze, bei der Wiedergabe, letztlich Heisenberg-Unschärfe

#### Technisch

- Redundanzen  $\Rightarrow$  1 m3 maximal etwa möglich
- Spürhöhe: mechanische Stabilität, Regelung, Rasen, Energie für Wiedergabe
- Archivvolumen: Verhältnis Oberfläche zu Volumen,  $\Rightarrow$  Bandform bzw. Holographie u. ähnlich
- Speicherdichte: unterscheiden: linear  $\Rightarrow$  Oberfläche  $\Rightarrow$  Volumen sowie Wirkungsgrad der Wiedergabewandler
- Zugriff: Lichtgeschwindigkeit; Masse-Beschleunigung



elemzell.cdr h. vözl 2.1.94

## Grenzbeziehungen

**atomar:** Heisenberg-Unschärfe

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq h/2$$

Es sind keine genaueren Messungen möglich. Das gilt für alle konjugierten Koordinaten. Für ein **Photon** / Lichtquant gilt:

$$\Delta E = h \cdot \nu.$$

Damit folgt für  $\nu = f$  die **Küpfmüller**beziehung:

$$\Delta t \cdot \Delta f \geq 1/2.$$

Sie gibt die Samples/s an, die mindestens für eine „fehlerfreie“ Rekonstruktion erforderlich sind. Sie ist auch als **Nyquist**rate bekannt. Für die Shannon-Information gilt die **Entropie**:

$$H = - \sum_{v=1}^n p_v \cdot \log_2(p_v) \quad \text{und die Kanalkapazität} \quad C \leq H \cdot \Delta f$$

Thermodynamik: **Carnot**'scher Kreisprozeß

$$\eta \leq \frac{T_{\text{verbr.}} - T_{\text{Umwelt}}}{T_{\text{Umwelt}}}$$

Grenzkh.doc 18.9.96 Folien/97

## Energie je Bit

Nach Shannon gilt für die Kanalkapazität  $C = B \cdot \log_2 \left( \frac{P_n + P_s}{P_n} \right)$

Darin bedeuten:  $B$  Bandbreite des Kanals;  $P_s$  Leistung des Signals;  $P_n$  Leistung des Störungen (noise), bei rein thermischen Rauschen  $P_n = k \cdot B \cdot T$ .

Darin bedeuten:  $k$  die Boltzmannkonstante mit  $1,381 \cdot 10^{-23}$  J/K;  $T$  die absolute Temperatur

Die Signalleistung sei das  $z$ -fache der Störleistung  $P_s = z \cdot P_n$

Dann gilt  $C = B \cdot \log_2(1 + z)$

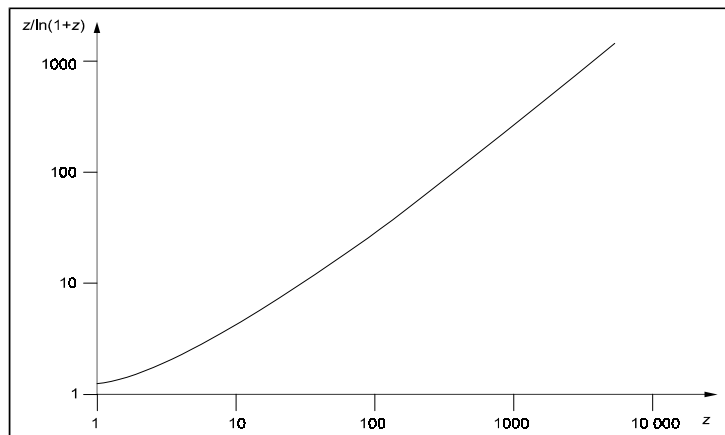
Für das Verhältnis von Signalleistung zur Kanalkapazität gilt deshalb  $\frac{P_s}{C} = k \cdot T \cdot \frac{z}{\log_2(1+z)}$  in  $\frac{\text{J}}{\text{Bit}}$  bzw.  $\frac{\text{W}}{\text{Bit/s}}$

Der Ausdruck von  $z$  kann nun in eine Reihe entwickelt werden:  $\frac{z}{\ln(1+z)} = \frac{1}{1 - \frac{z}{2} + \frac{z^2}{3} - \frac{z^3}{4} \pm \dots}$

Hierfür gelten die Grenzen  $1 < \frac{z}{\ln(1+z)} \rightarrow 1$  für  $z \rightarrow 0$

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

Bei 300 K, etwa Zimmertemperatur folgt  $E/\text{Bit} = 3 \cdot 10^{-21} \text{ J} \cong 5 \cdot 10^{11} \text{ Hz} \cong 5 \cdot 10^{-22} \text{ cal} \cong 26 \text{ mV}$



## Ableitung der optischen Speichergrenze

Aperturwinkel  $\beta$  und Brechungswinkel  $n$  ergeben numerische Apertur

$$A = n \cdot \sin(\beta)$$

Mit der Wellenlänge  $\lambda$  folgt Brennfleckdurchmesser

$$D = \lambda/A$$

Die Länge des Brennflecks beträgt  $l = \lambda \cdot A$ , folglich ist das Brennvolumen

$$V \sim \lambda^3$$

Mit der Planckschen Konstanten  $h$  und der Lichtgeschwindigkeit  $c$  beträgt die Lichtenergie eines Photons

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c/\lambda$$

Für eine Speicherung muß die Energiedichte  $w$  im Material mindestens so groß wie die Energie eines einzelnen Photons sein:

$$w = E/V = h \cdot c \cdot \lambda^{-4}$$

So folgt für die kürzestmögliche Wellenlänge

$$\lambda_{\min} = \sqrt[4]{h \cdot c / w}$$

Diese Abmessung bestimmt sogleich das kleinstmögliche Bitvolumen zu

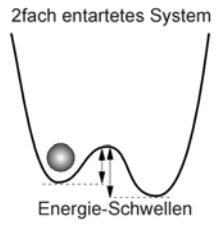
$$V_{\text{BIT}} = (h \cdot c / w)^{3/4}$$

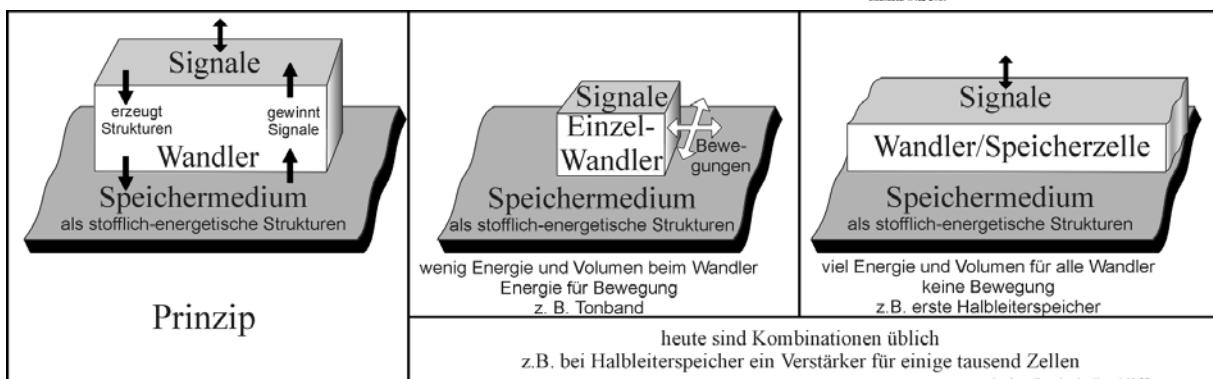
Mit der Grenze der klassischen Physik von  $w = 0,5 \text{ J/cm}^3$  ergibt sich

$$\lambda_{\min} \sim 25 \text{ nm, also}$$

$10^{16} \text{ Bit/cm}^3$  Speicherdichte.

Für ein Medium von  $1 \text{ m}^3$  folgt die Obergrenze von maximal möglicher Speicherkapazität zu  $10^{22}$  Bit

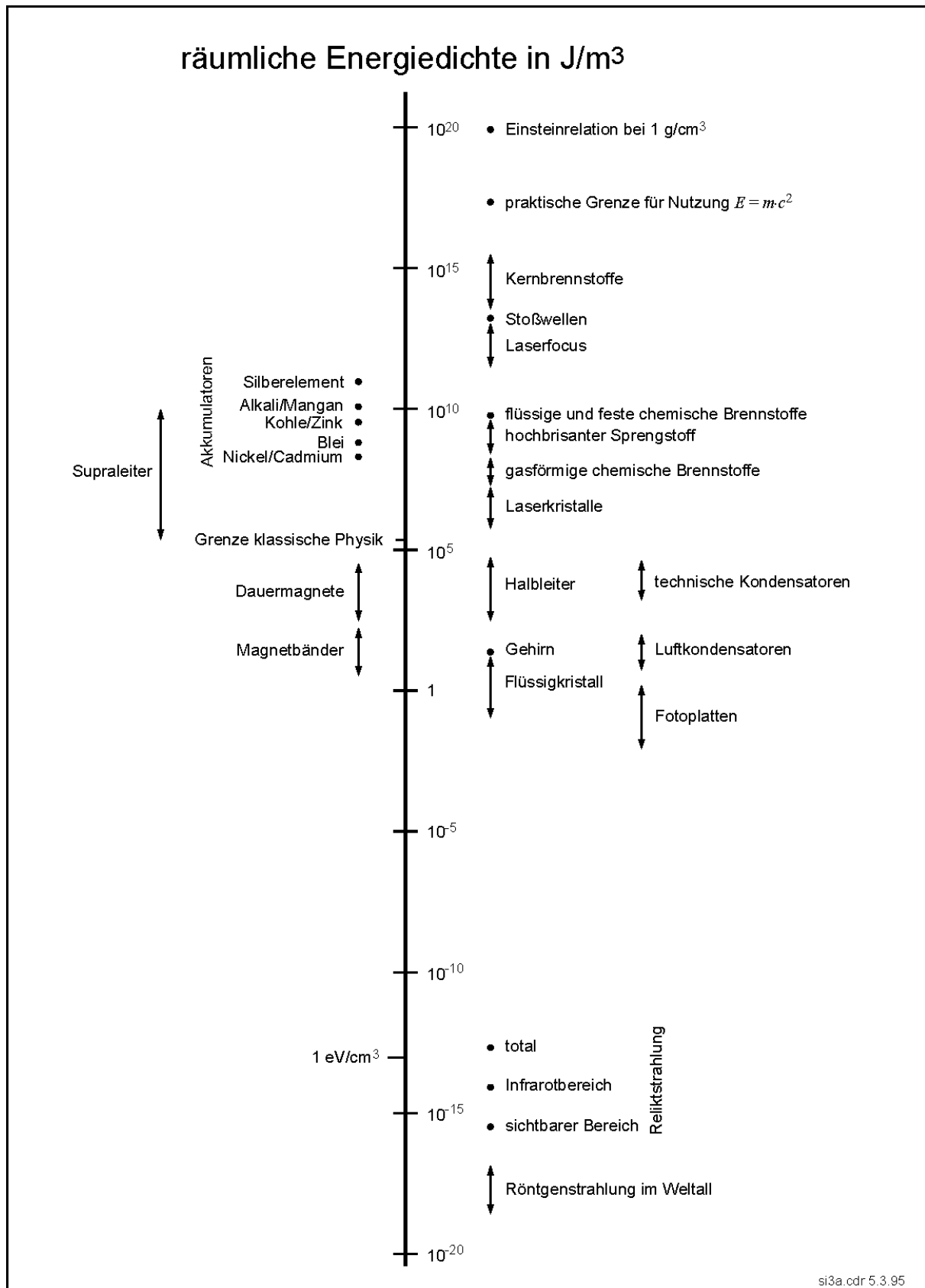
Bit-Energie aus thermodynamischer Sicht		
Boltzmann-Formel	$S = k \cdot \ln(W)$	 <p>2fach entartetes System</p> <p>Energie-Schwellen</p>
Vor der Messung	$S = k \cdot \ln(0,5) = -k \cdot \ln(2)$	
Nach der Messung	$S = k \cdot \ln(1) = 0$	
Wärme-Menge, die bei der Messung verbraucht wird	$\Delta Q = \Delta S \cdot T = k \cdot T \cdot \ln(2)$	
		<p>Es bedeuten:</p> <p><math>S</math> = thermodynamische Entropie  <math>W</math> = Zustands-Wahrscheinlichkeit  <math>k</math> = Boltzmann-Konstante  <math>T</math> = absolute Temperatur</p>

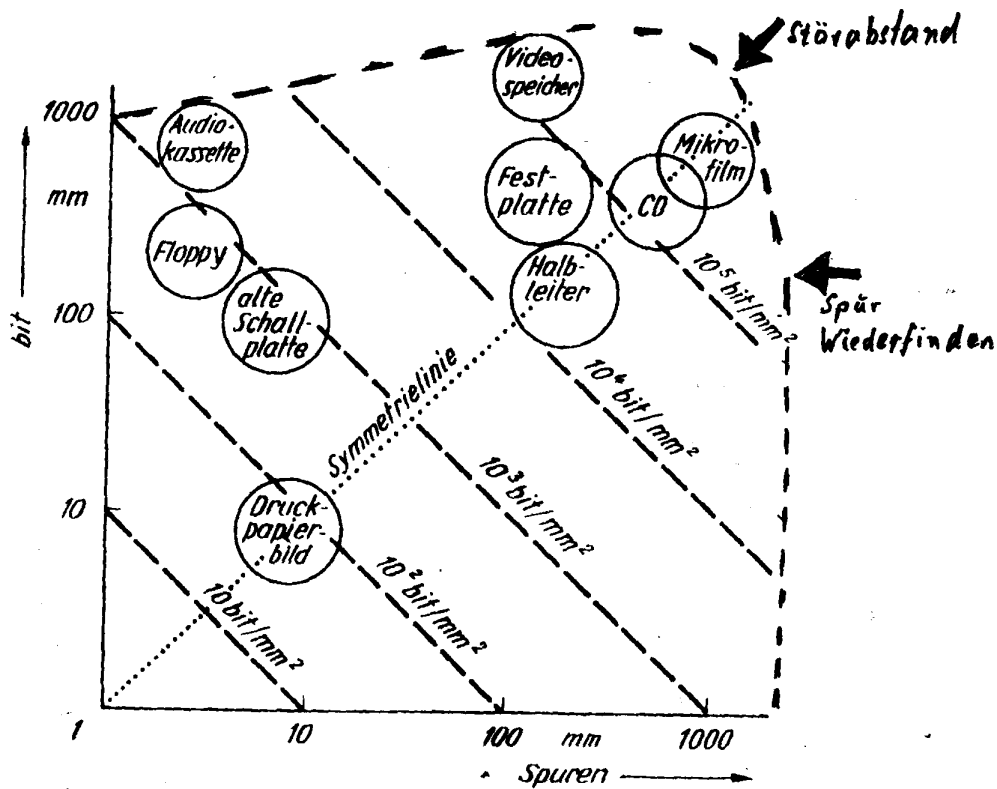


## Speicherdichten

- Letztlich müssen Speichermedien archiviert werden, d. h. sie sind im Raum unterzubringen. Folglich ist die **räumliche Speicherdichte** wesentlich. Sie wird jedoch so gut wie nie angegeben. Folgende Größen ergeben sich aus technischen Gesichtspunkten
- **Lineare Speicherdichte** in einer Spur. Sie wird in Bit/mm oder bpi (bit per inch) angegeben. Sie läßt sich besonders groß machen
- **Spurdichte** als Mittenabstand zwischen benachbarten Spuren. Sie wird in Spuren/mm oder tpi (tracks per inch) angegeben. Sie wird wesentlich durch die Präzision der Spurführung bestimmt. Dafür wurde im Laufe der Zeit vielfältige Techniken geschaffen

- Flächenspeicherdichte** gilt für Oberflächen. Praktische alle heutigen Verfahren speichern nur an Oberflächen. Sie ist Produkt der beiden obigen Speicherdichten. Nur in seltenen Fällen sind beide Richtungen gleich dicht. Aus technischen Gründen ist die „Dicke“ des Mediums meist sehr viel größer als die anderen Speicherdichten





Verfahren	Grenze	Erreicht
Halbleiter	$10^{18}$ Bit	$10^{14}$ Bit
Magnetverfahren	$10^{19}$ Bit	$10^{16}$ Bit
Optische Methoden	$10^{22}$ Bit	$10^{15}$ Bit

### Volumen-Redundanzen

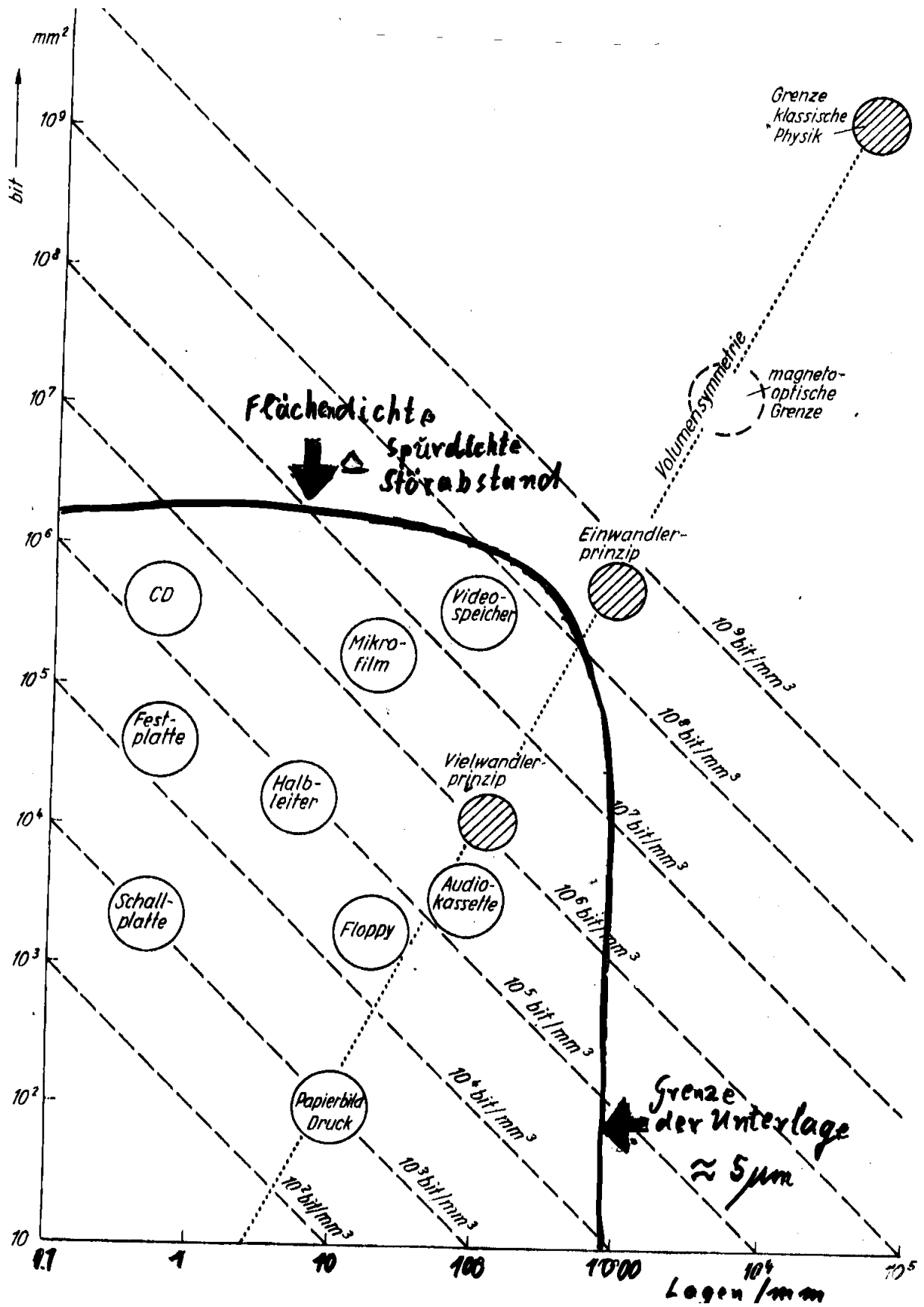
Wir unterscheiden grob 4 technische Größenklassen (ausgenommen sei der Maschinenbau)

Klasse	Bauelement	Handgerät	Standgerät	Gebäude
Beispiele	Widerstand, Transistor, Chip	Lupe, Taschenrechner, Handy,	Bett, Schrank, Rechner, Kühlschranks,	Haus, Fabrik
ca. Volumen	$\text{cm}^3$	$\text{dm}^3$	$\text{m}^3$	$10^5 \text{ m}^3$

In jeder Klasse und zwischen den Klassen sind immer Volumen-Redunzen erforderlich

Beschreibung	Verhältnis
<b>Bauelement</b> muß für Handhabung und zum Schutz gekapselt werden	10:1 bis 1000:1
Im <b>Handgerät</b> sind Freiräume beim Bau und z.T. funktionell (u.a. Wärme) erforderlich	ca. 100:1
<b>Standgerät:</b> Leiterplattenaufbau, Lücken zwischen den Bauelemente und Leiterplatten notwendig, Netzteil, Wärmeabfuhr, mechanische Stabilität, Verdrahtung usw.	um 10000:1
<b>Gebäude,</b> Raum zwischen den Standgeräten, Rückverdrahtungen, Reparaturzugang, Kabelverlegungen, Klimaanlage usw. Max. etwa $10^4$ Geräte in sehr großem Haus	um 10000:1

Als Konsequenz ergibt sich, daß der Menschheit maximal  $1 \text{ m}^3$  Material (echtes Speichervolumen) zur Verfügung stehen werden.



# Energie-Direkt-Umwandlungen

üblich seit ??, entnommen aus Funktechnik 19/67; 373

	Mechanisch	Thermisch	Licht	elektrisch	chemisch
mechanisch	einfache Maschinen	Reibungswärme, Wärmepumpe, Kältemaschine	Tribolumineszenz	Dynamo-maschine, Mikrophon	
thermisch	Wärme-kraft-maschine	Absorptions-kältemaschine	Glühlampe	MHD-Generator Seebeck-Effekt thermo-ionische Dioden	endotherme chemische Reaktionen
Licht	Radiometer	Lichtabsorption	Fuoreszenz	Speerschicht-Photozelle	Photosynthese, Photodissoziation
elektrisch	Elektromotor, Elektro-Osmose MHD-Pumpe	Peltier-Effekt, Thomson-Effekt	Spektrallampe, Leuchtstoffröhren	Speicherung in Akku oder Pumpen-Speicherwerk	Elektrolyse, Elktrodialyse
chemisch	Osmose, Muskel	exotherme chemische Reaktion, spez. Verbrennung	Chemie-Lumineszenz, (Leuchtkäfer)	galvanische und spez. Brennstoff-Elemente	Präreaktion in Brennstoff-Elementen

WandlungsMtrizen.doc h. vözl 1.5.99

## Anregungs- und Emissionsprozesse aus Analysetechnik

Zeilen = Anregung; Spalten = Emission

	$h\nu$	$E$	$i$	$N$
$h\nu$ Photonen	Reflexion, Fuoreszenz	Photo- und Auger-Elektronen	Photodesorption von Ionen	Photodesorption von Neutralteilchen
$e$ Elektronen	durch Elektronen induzierte Emission	Sekundärelektronen; reflektierte und Augereffekt	durch Elektronen induzierte Ionendesorption	durch Elektronen induzierte Desorption von Neutralteilchen
$i$ Ionen	durch Ionen induzierte Emission	durch Ionen induzierte Elektronen-Emission (Kathodenfall)	Sekundär-Ionen-Emission, Reflexion	Kathodenzerstäubung
$N$ neutrale Teilchen	durch Neutralteilchen induzierte Emission	durch Neutralteilchen induzierte Elektronenemission	durch Neutralteilchen induzierte Ionenemission	Kathodenzerstäubung
$kT$ thermisch	thermische Strahlung	Thermische Elektronenemission	thermische Ionendesorption	thermisches Verdampfen
$E$ Feld		Feldelektronenemission	Feldionenemission	
Mechanisch		Exoelektronenemission		Ultraschall-desorption

WandlungsMtrizen.doc h. vözl 1.5.99

### Arten der Speicherung Was wird gespeichert?

1. Statische Fakten/Daten wie: Adressen, Telefonnummern, Meßwerte, Texte
2. Zeitpunkte aus (dynamischen) Abläufen, wie Fotografie, Signalabtastung.
3. Zeitabläufe wie Schall- und Videoaufzeichnung

## 8 Existenzformen von Information

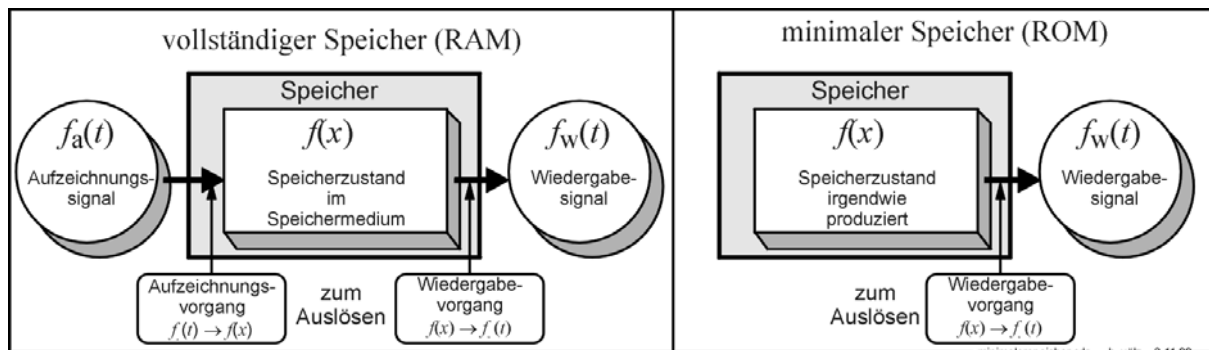
<b>ohne</b>	koordinatenfrei	direkte, fixe Werte, u.a. Zahlen
<b><math>f(x)</math></b>	eine Ortskoordinate	z.B. Werte längs eines Weges, u.a. Auslenkung in der Schallrille
<b><math>f(x,y)</math></b>	zwei Ortskoordinaten	z.B. Werte auf einer Fläche, u.a. Pixelbild
<b><math>f(x,y,z)</math></b>	drei Ortskoordinaten	z.B. Werte im Volumen, u.a. elektrische Feldstärke im Raum
<b><math>f(t)</math></b>	eine Zeitkoordinate	z.B. Meßwerte während eines Tages, Monats usw. u.a. Temperaturkurve
<b><math>f(x,t)</math></b>	je eine Zeit- und Ortskoordinate	z.B. Verkehrsbelastung einer Straße oder Strömungsgeschwindigkeit in einem Rohr
<b><math>f(x,y,t)</math></b>	zwei Orts- und eine Zeitkoordinate	z.B. Fernsehbild oder Oberflächenwellen
<b><math>f(x,y,z,t)</math></b>	drei Orts- und eine Zeitkoordinate	z.B. Theaterraufführung oder Schallfeld in einem Raum

Folien\97\systeme2.doc

Jahr	Techniken	Abstand Jahre
1450	Buchdruck	
1830	Photographie	380
1900	Lochkarte, Schallplatte	70
1950	elektronische Medien	50
1985	optoelektronische Medien	35
2010	???	25

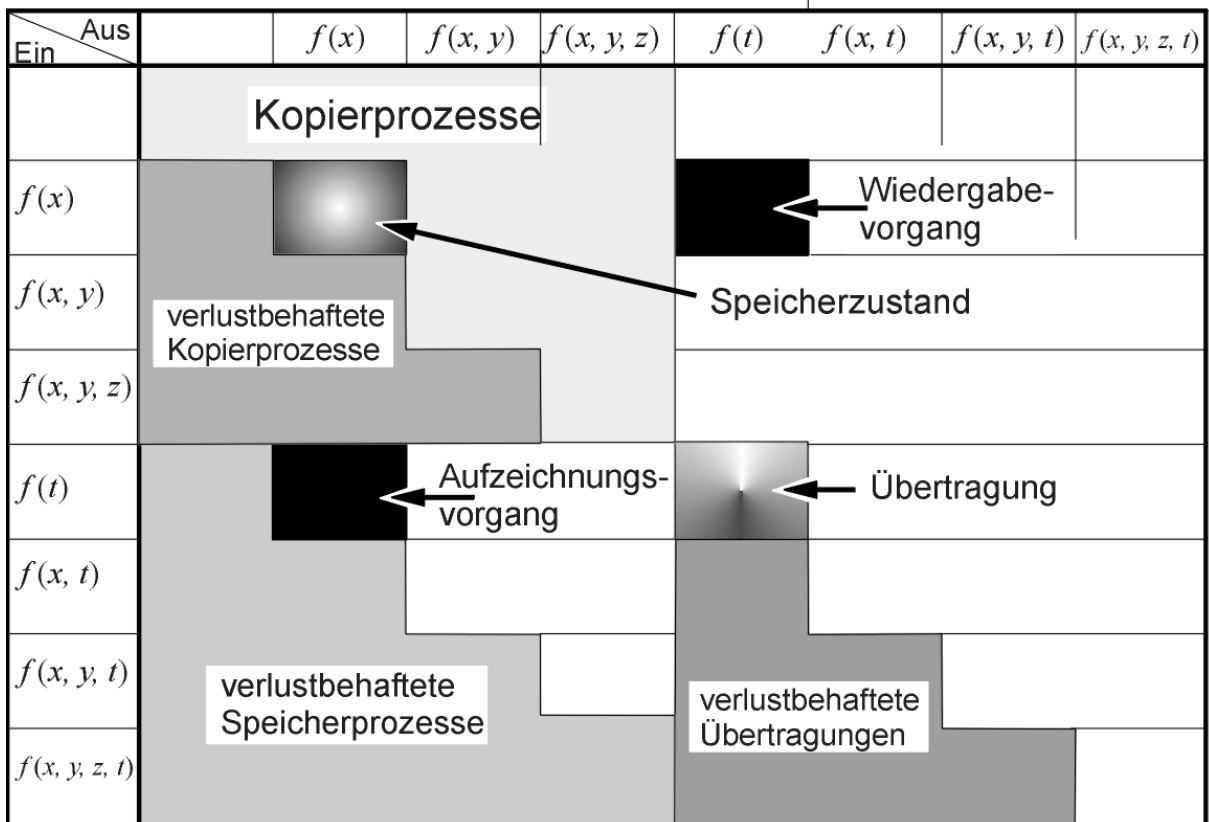
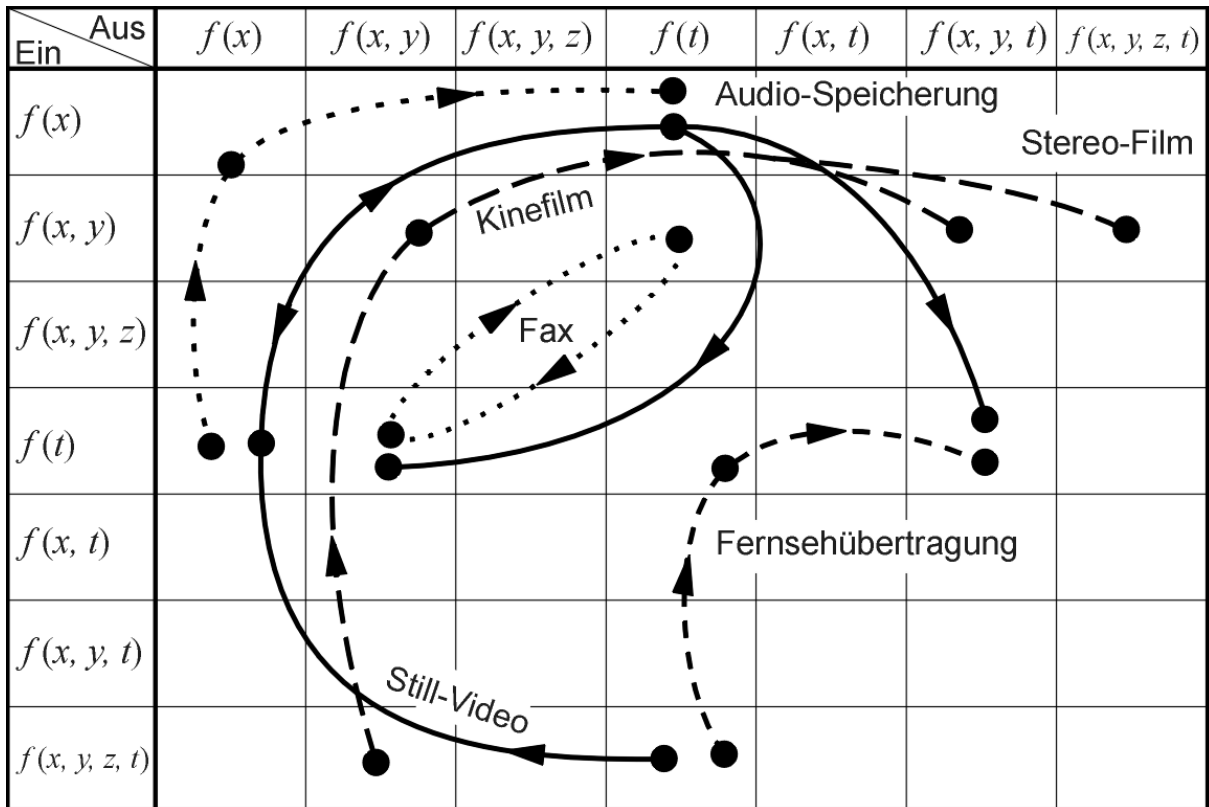
Ein \ Aus								
	ohne	$f(x)$	$f(x, y)$	$f(x, y, z)$	$f(t)$	$f(x, t)$	$f(x, y, t)$	$f(x, y, z, t)$
ohne	Formel	Daten-speicherung	Symbole, Ziffern, Buchstaben		Daten-übertragung			
$f(x)$	Ablese eines Zeiger-instruments	Daten kopieren	Histogramm		Wiedergabe von CD oder Schallplatte		Wiedergabe einer Video-aufzeichnung	Theater-aufführung
$f(x, y)$	Zeichen-erkennung		Photokopie, Buchdruck	Hologramm-, Stereobild-wiedergabe	Bildabtastung, Scannen		klassischer Kinefilm	Bau eines Gerätes oder Gebäudes nach Zeichnungen
$f(x, y, z)$			Photographie, Landkarte, Hologramm, Stereobild	Holographie				
$f(t)$	Signal-abtastung	Signal-speicherung	Oszillogramm, Sonogramm		Signal-übertragung		Fernseh-Wiedergabe	
$f(x, t)$			Weg-Zeit-Diagramm					
$f(x, y, t)$		Video-Aufzeichnung	klassische Film-Aufnahme		Filmabtastung			
$f(x, y, z, t)$		Roman	Schnappschuß bei Photo		mündlicher Bericht, Videosignal		Fernseh-übertragung	echter Stereofilm

gpmatik.cdr h. vözl 29.12.83

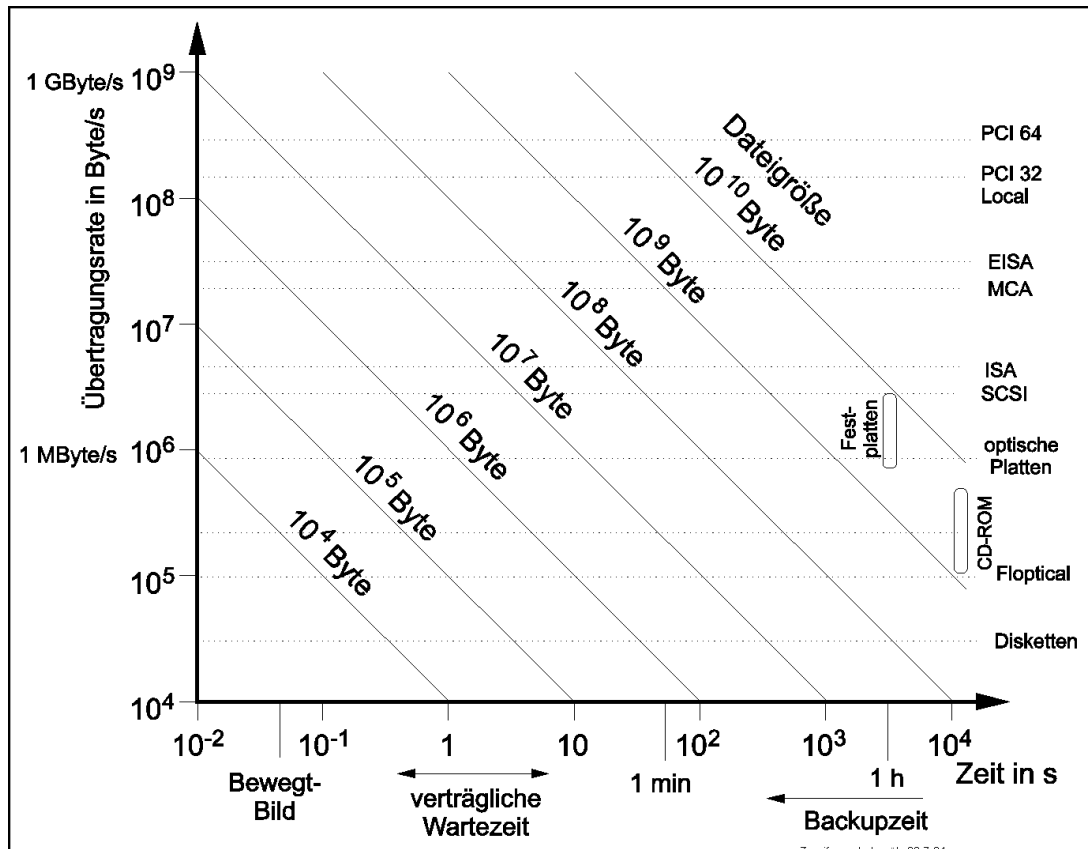


minimalspeicher.cdr h. vözl 3.11.99





prmatrix.cdr h. vözl 29.12.93



### Benötigte Datenvolumen (leicht gerundet)

Denning, u.a.: beyond calculation. copernicus 1997

Datentyp	Byte/s	je Stunde	je Tag	lebenslang
Gelesener Text, wenig Bilder	50	0,2 MByte	5 MByte	200 GByte
Sprache 120 Worte/min	12	0,05 MByte	0,5 MByte	20 GByte
Komprimierte Sprache	1000	4 MByte	40 MByte	1,5 Tbyte
Komprimiertes Video	500000	2 GByte	20 GByte	1PByte

Tabellen.doc Texte\texte\89

### Verfügbare Speicherkapazität

mehrere Abschätzungen zeigen für kurz nach 2000:

Es steht uns **soviel Speicherkapazität** zur Verfügung,  
daß **alle** elektronisch erfaßbaren menschlichen Aktivitäten, also z.B. Telefon, Fax, Rundfunk, Fernsehen  
**vollständig speicherbar** wären

Hinweise darauf schon vorhanden:

krisenhafter Verfall der Preise für RAM und Festplatten

Das erzwingt offenbar

eine **neue Qualität** im Umgang mit Information

könnte betreffen

- was Speichern und wie Auffinden? (Organisation)
- Inhalt | Bedeutung der Information (Qualität)
- heute noch Unbekanntes

Es betrifft aber auch die Kompression

sie verliert bezüglich Speichern an Wichtigkeit

### Wirkungsgrad der Wandler.

Magnetisch	50 bis 90 %
Optisch	ca. 30 %
Magneto-optisch	ca. 0,1 %

### Für die Speicherdichte gilt allgemein

Aufzeichnung	>	Speicherzustand	>	Wiedergabe
0		$10^{20}$ bit/cm <sup>3</sup>		$10^{13}$ , $10^{16}$ (optisch) bit/cm <sup>3</sup>
		Energiedichte		Meßtechnik

### Verfügbare Speicherkapazität

mehrere Abschätzungen zeigen für kurz nach 2000:

Es steht uns **soviel Speicherkapazität** zur Verfügung, daß **alle** elektronisch erfassbaren menschlichen Aktivitäten, also z.B. Telefon, Fax, Rundfunk, Fernsehen **vollständig speicherbar** wären

Hinweise darauf schon vorhanden:

krisenhafter Verfall der Preise für RAM und Festplatten

Das erzwingt offenbar

eine **neue Qualität** im Umgang mit Information

könnte betreffen

- was Speichern und wie Auffinden? (Organisation)
- Inhalt | Bedeutung der Information (Qualität)
- heute noch Unbekanntes

Es betrifft aber auch die Kompression, sie verliert bezüglich Speichern an Wichtigkeit

### Verfügbare Speicherkapazität

mehrere Abschätzungen zeigen für kurz nach 2000:

Es steht uns **soviel Speicherkapazität** zur Verfügung, dass **alle** elektronisch erfassbaren menschlichen Aktivitäten, also z.B. Telefon, Fax, Rundfunk, Fernsehen **vollständig speicherbar** wären Hinweise darauf schon vorhanden: krisenhafter Verfall der Preise für RAM und Festplatten

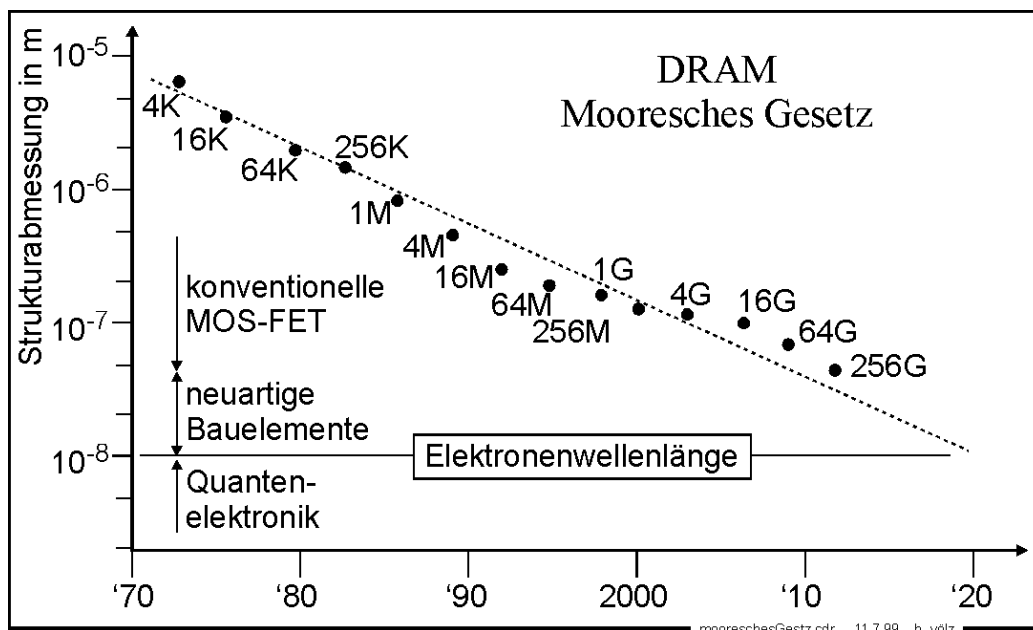
Das erzwingt offenbar

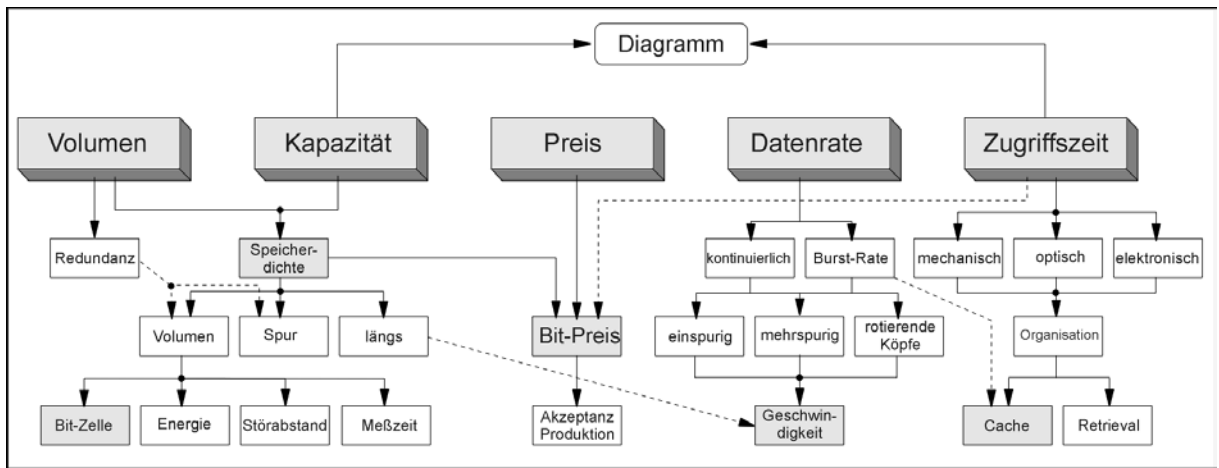
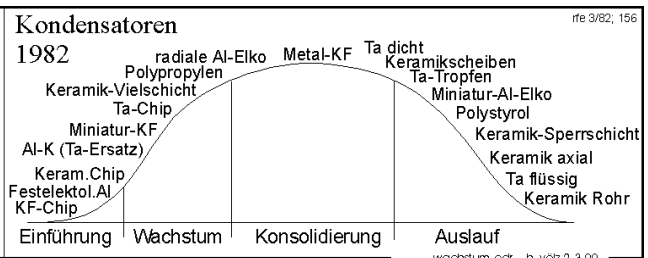
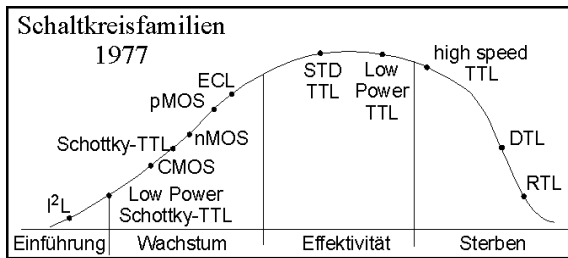
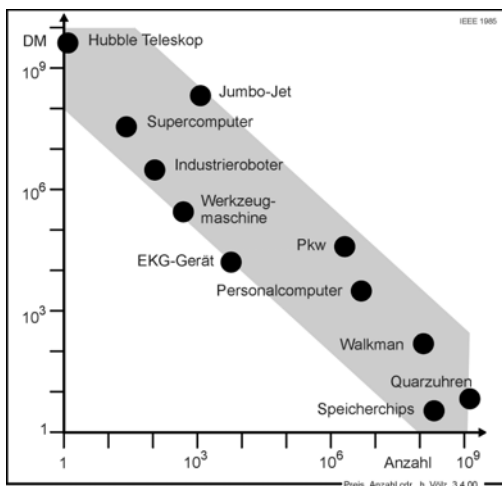
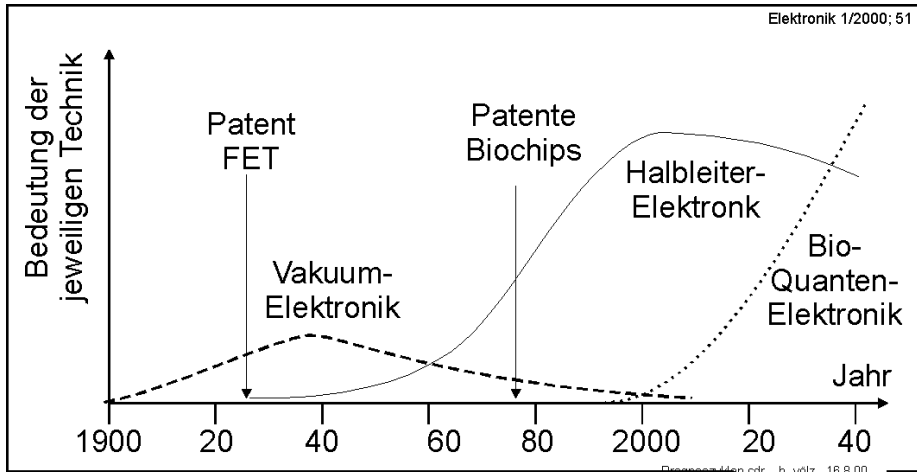
eine **neue Qualität** im Umgang mit Information

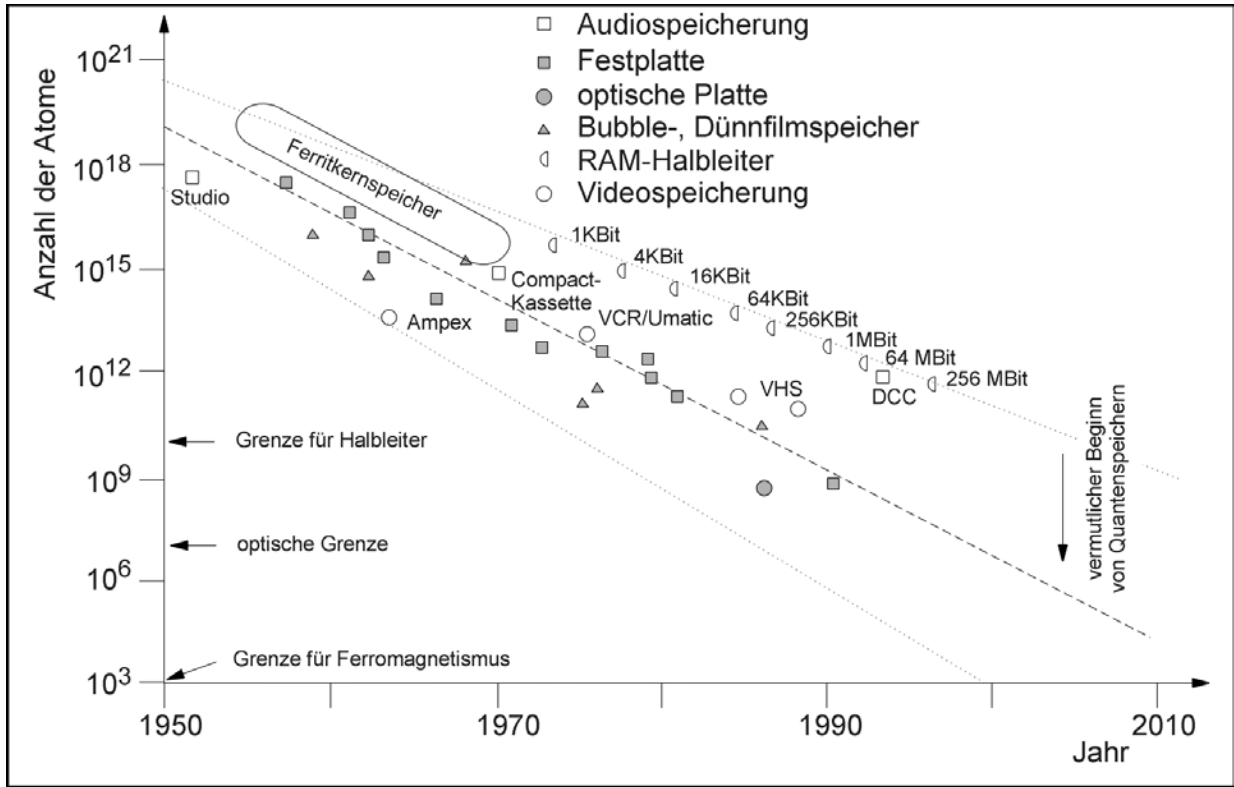
könnte betreffen

- was Speichern und wie Auffinden? (Organisation)
- Inhalt | Bedeutung der Information (Qualität)
- heute noch Unbekanntes

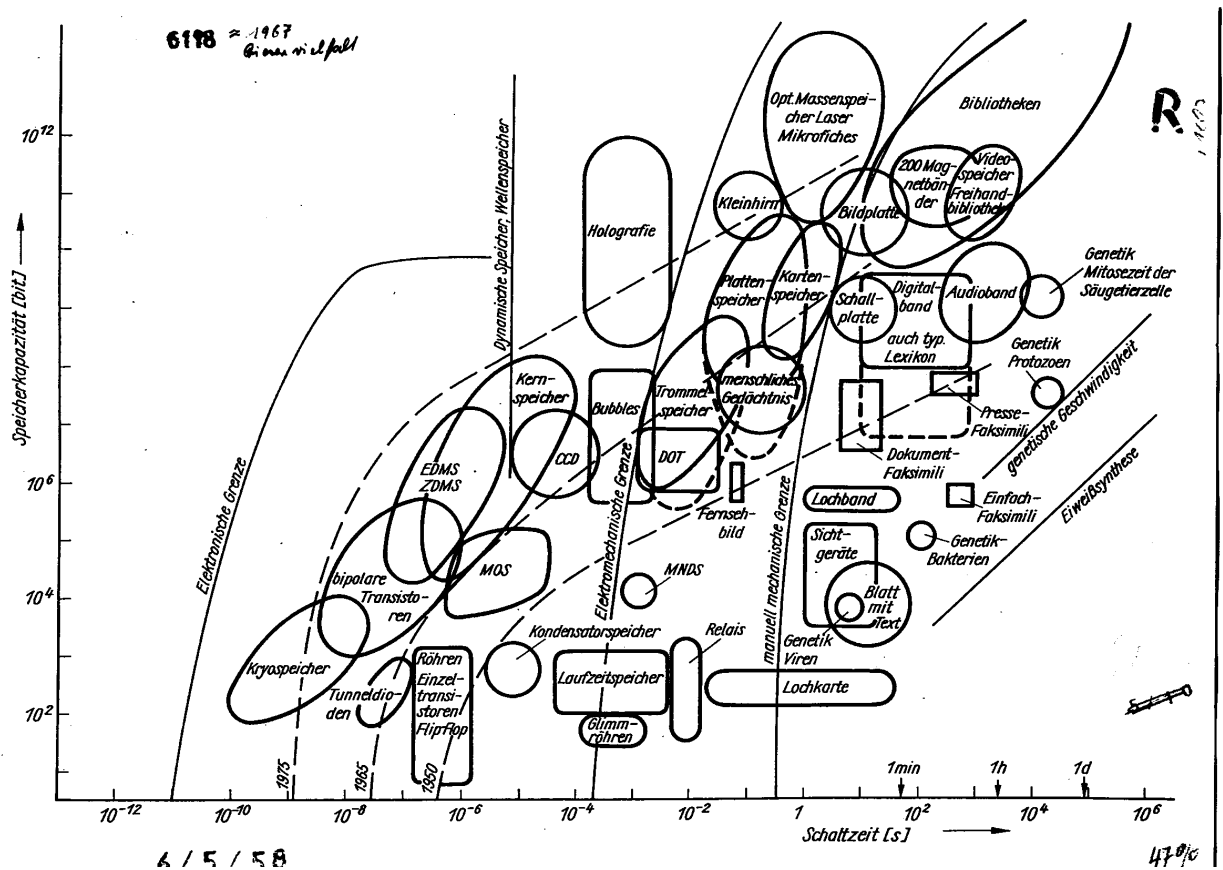
Es betrifft aber auch die Kompression, sie verliert bezüglich Speichern an Wichtigkeit

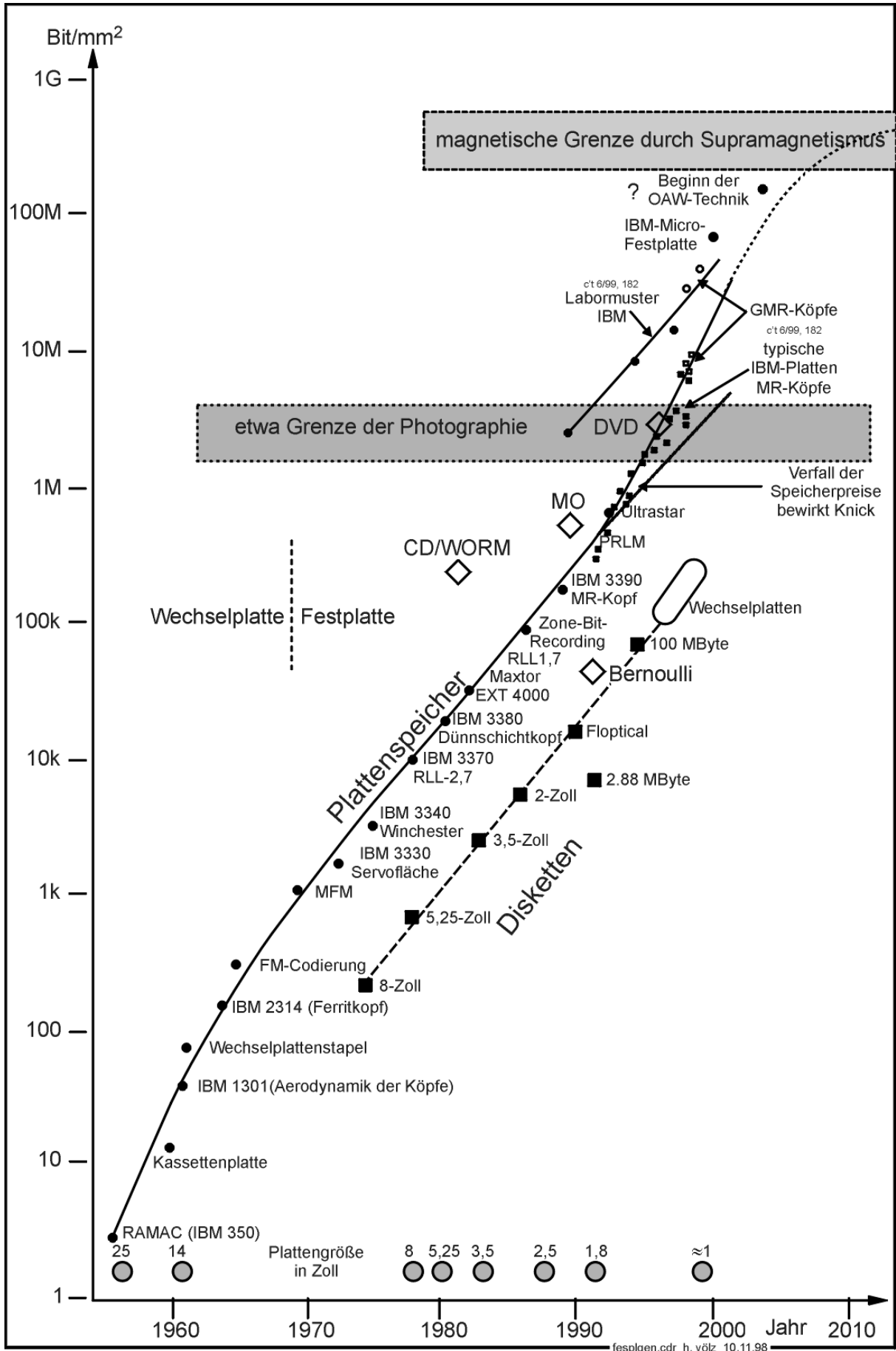


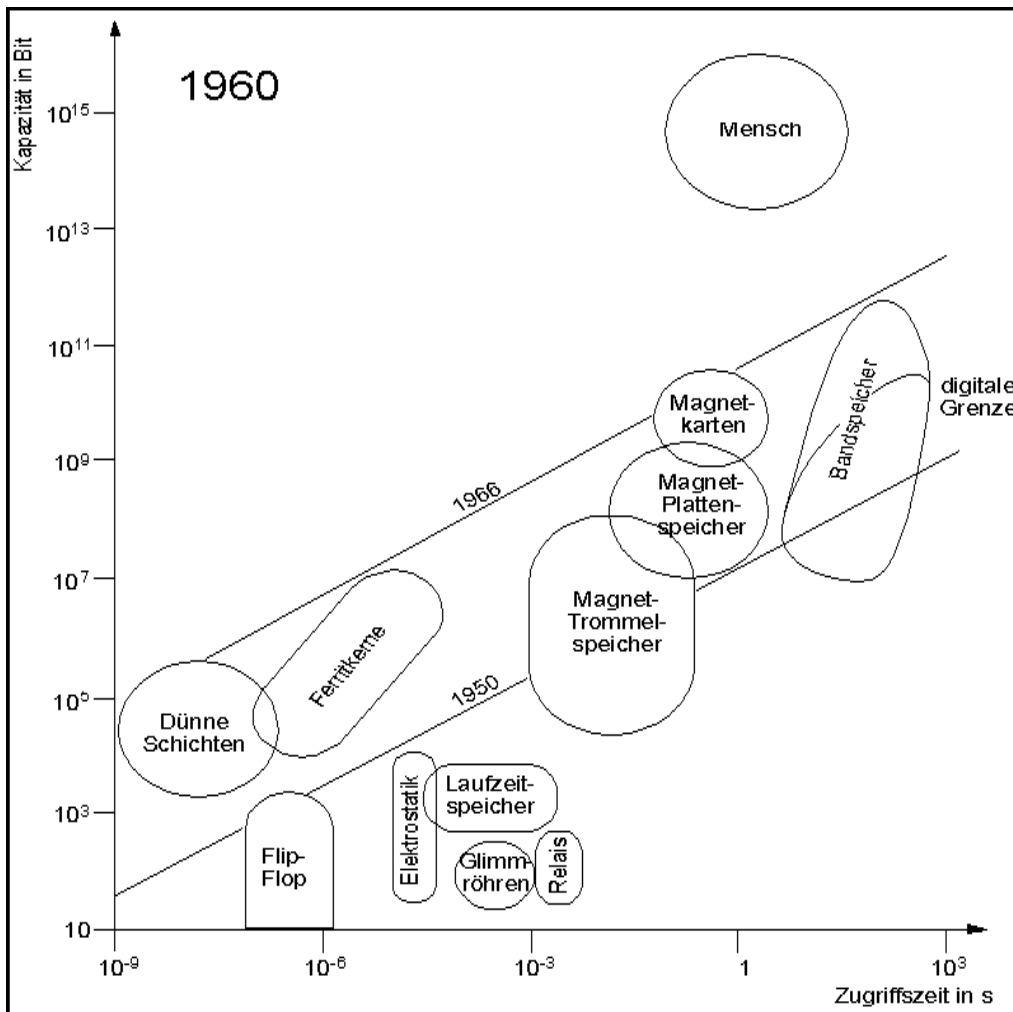
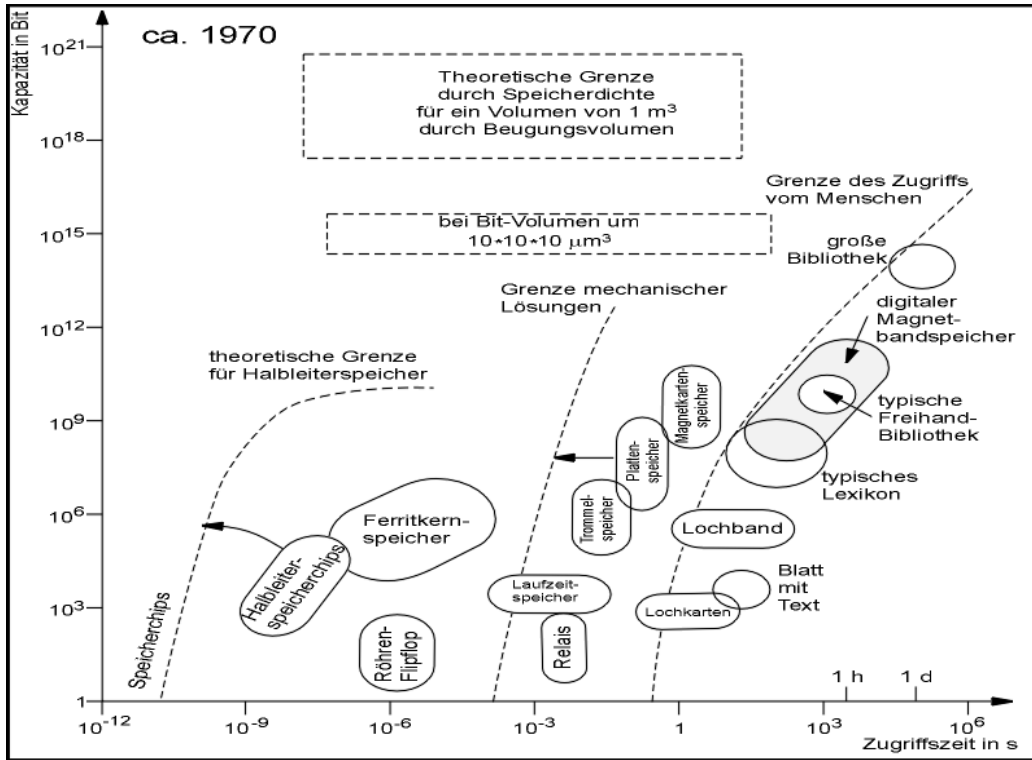




atomsp.cdr h. vözl 10.4.98



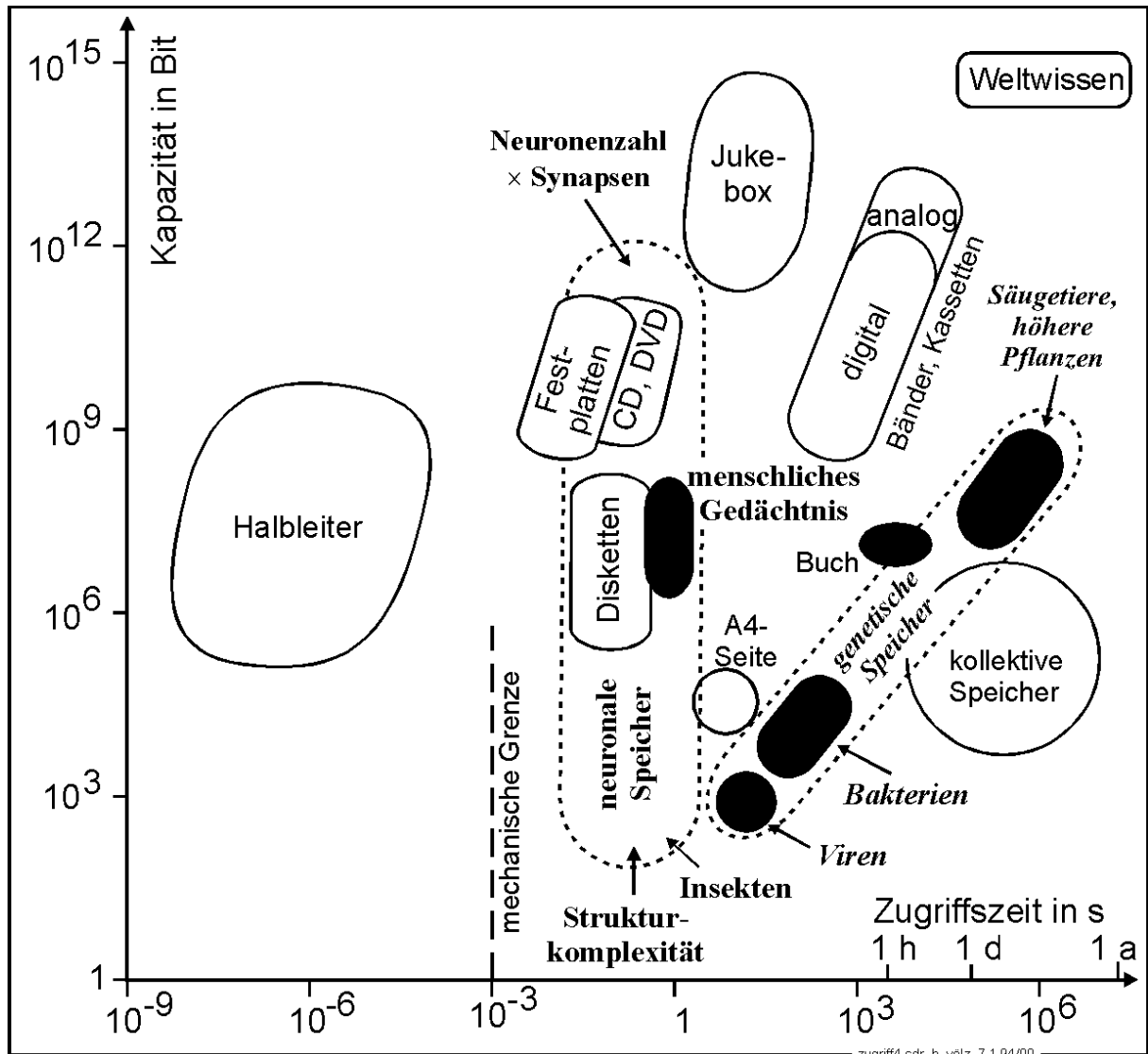
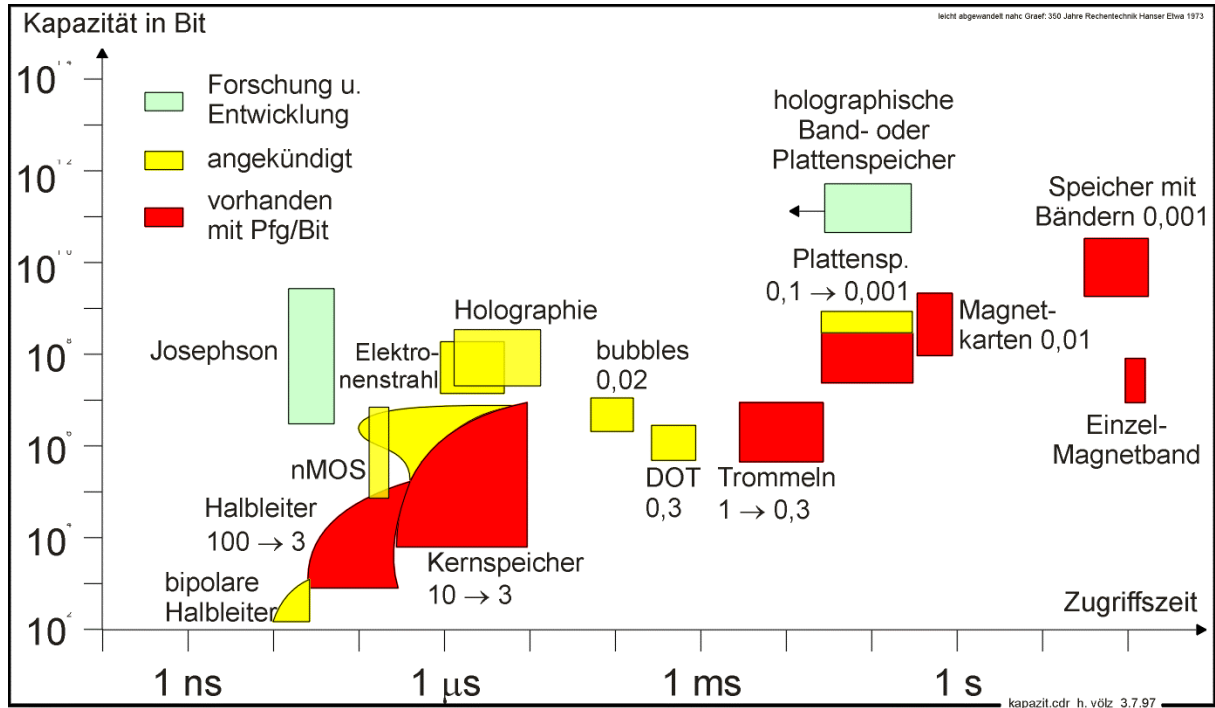




Alle Speicher nach Lerner 1967

Speicher mit nichtelektronischer Informationseingabe		photoelektrischer Speicher		Flatterspeicher	
Lochband	Matrixspeicher				
Relaispeicher		mit Parametron und Ferraresonanzspeicher		mit Ferrispeichern	
mit elektromechanischem Relais	mit elektronischem Relais				
Elektromechanische Magnetspeicher		mit Magnetbändern		mit Magnettrommel	
Feste Magnetspeicher		mit Magnetplatten		mit Magnetscheiben	
Kryospeicher		mit Kryostaten		mit Elementen mit Programmen	
Speicher mit Elektronenstrahlröhren		als „Selekttron“		mit Regenerierung	
mit Bohrereingitter	mit auf der Oberfläche verteilten Ladungen				
Laufzeitspeicher		als induktive Speicher		als piezoelektrische Speicher	
als Quecksilberspeicher	als magnetostruktive Speicher				





### Zeit und Daten

- **Zugriffszeit**, viele Varianten, meist die gemittelte Zeit zwischen der Anforderung und dem Erhalt (einzelner) Daten, die teilweise durch einen *Cache* verkürzt erscheint
- **Datenrate**, mehrere Varianten, meist für eine lang anhaltende Übertragung in Bit/s (Burst-Rate, Streaming-Mode), die eventuell durch Zugriffszeiten verringert erscheint
- **Archivierungszeit**; Zeitdauer in der gespeicherte Daten **sicher** verfügbar bleiben, hängt ab von
- Speicherzeit des **Mediums**, d.h. bis es sich durch Einflüsse (Licht, Wärme, mechanisch usw.) verändert
- Verfügbarkeit der aktuellen **Technik** (moralische Veralterung, vgl. heute Lochband und 8-Zoll-Diskette)
- **Updaterate**, Zeitabstand in dem Daten in etwa regelmäßig aktualisiert werden

#### Zugriffszeit hängt ab von

- Kapazität des Speichers, meist je größer desto langsamer
- Technologie: Halbleiter (MOS, ECL ...), Festplatte, Band, ...
- Organisation, u.a. linear, matrizenhaft, hierarchisch, assoziativ, hashcode, cache

#### Typische Grenzwerte

- Optik, Tieftemperaturphysik ps
- Elektronisch ns
- Mechanisch ms
- Mensch Sekunden bis Minuten

Alte Version 22.7.90, neu: Zeit und Daten.doc 8.11.99

