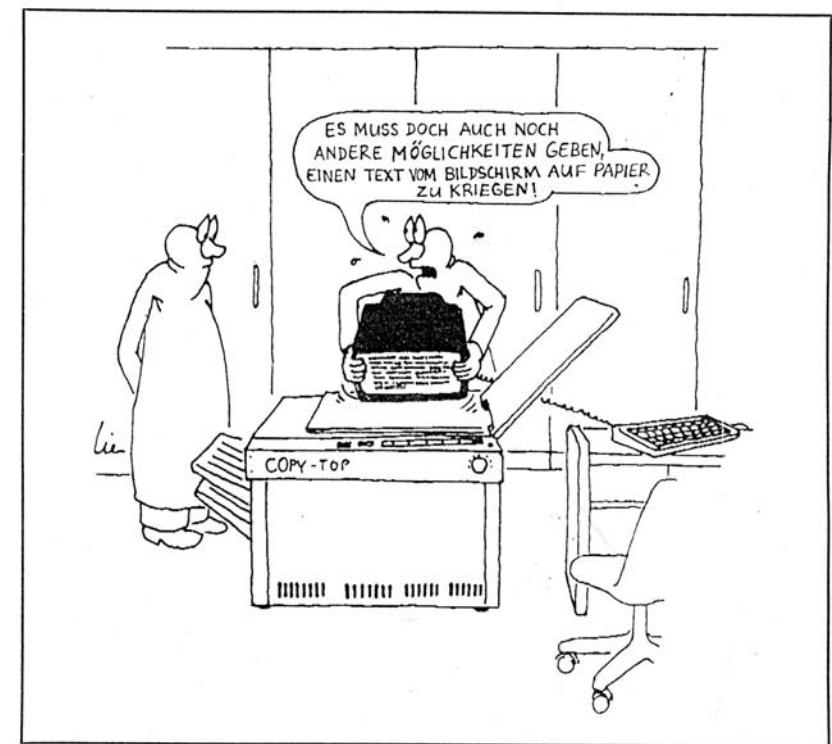


# Periphere Geräte

Dr.rer.nat. Rainer Böhm / IPVS / ISE

Folien zur Vorlesung ab WS 2003/04

**Universität Stuttgart**  
Institut für Parallele und  
Verteilte Systeme (IPVS)  
Universitätsstrasse 38  
D-70569 Stuttgart



# Inhaltsverzeichnis

---

## 1. Einbettung:

1. 1	Analog- / Digitalrechner .....	2
1. 2	Infrastruktur.....	5
1. 3	Konfiguration .....	6
1. 4	Buskonzepte .....	7
1. 5	Netzfähigkeit.....	8
1. 6	Definition: Peripheriegerät .....	9

## 2. Papierperipherie:

2. 1	Typografie, Textsysteme, PostScript.....	10
2. 2	Generelles zu Impact / Nonimpact.....	18
2. 3	Klassische Geräte (Lochstreifen, Lochkarten, TTY).....	20
2. 4	Daisy-Wheel, Matrixdrucker, Lineprinter.....	24
2. 5	Laserdrucker.....	36
2. 6	Magnetische Schreib-Konzepte.....	42
2. 7	Tintenstrahldrucker, Thermotransfer usw.....	43
2. 8	Plotter .....	51

## 3. Eingabegeräte:

3. 1	Mäuse .....	52
3. 2	Bildaufbereitung (Scanner...), Farbauszüge .....	56
3. 3	Tastaturen .....	60
3. 4	Farbsehen, Farbmodelle.....	62

## 4. Bildschirmgeräte:

4. 1	Bildschirmtechnik.....	67
4. 2	flach / tief, Elektronenkanone(n), HDTV mit Spiegeln .....	72
4. 3	Flüssigkristalle (LCD).....	75
4. 4	Magnetooptische Prinzipien.....	82
4. 5	Plasmaschirm(e), Farbtemperatur .....	83
4. 6	COM (MicroFiche) .....	88
4. 7	Auflösungsprobleme (Auge, Bildschirm).....	89

## 5. Magnetische Speicher (Hierarchie):

5. 1	Magnetband / Streamertape / DAT .....	92
5. 2	Platten (Trommel, Winchester, Wechselplatte), Magnetoresistance .....	100
5. 3	Floppies (8“, 5 1/4“, 3 1/2“) .....	116
5. 4	CD - Prinzip (Laserdisk, WORM), Bernoulli-Effekt .....	117
5. 5	Magnetooptisch (WORM, MO) .....	120
5. 6	Exoten: Bubbles .....	124
5. 7	Kernspeicher.....	127
5. 8	Silizium und sein Einsatz im Rechner.....	128
5. 9	MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory) .....	133

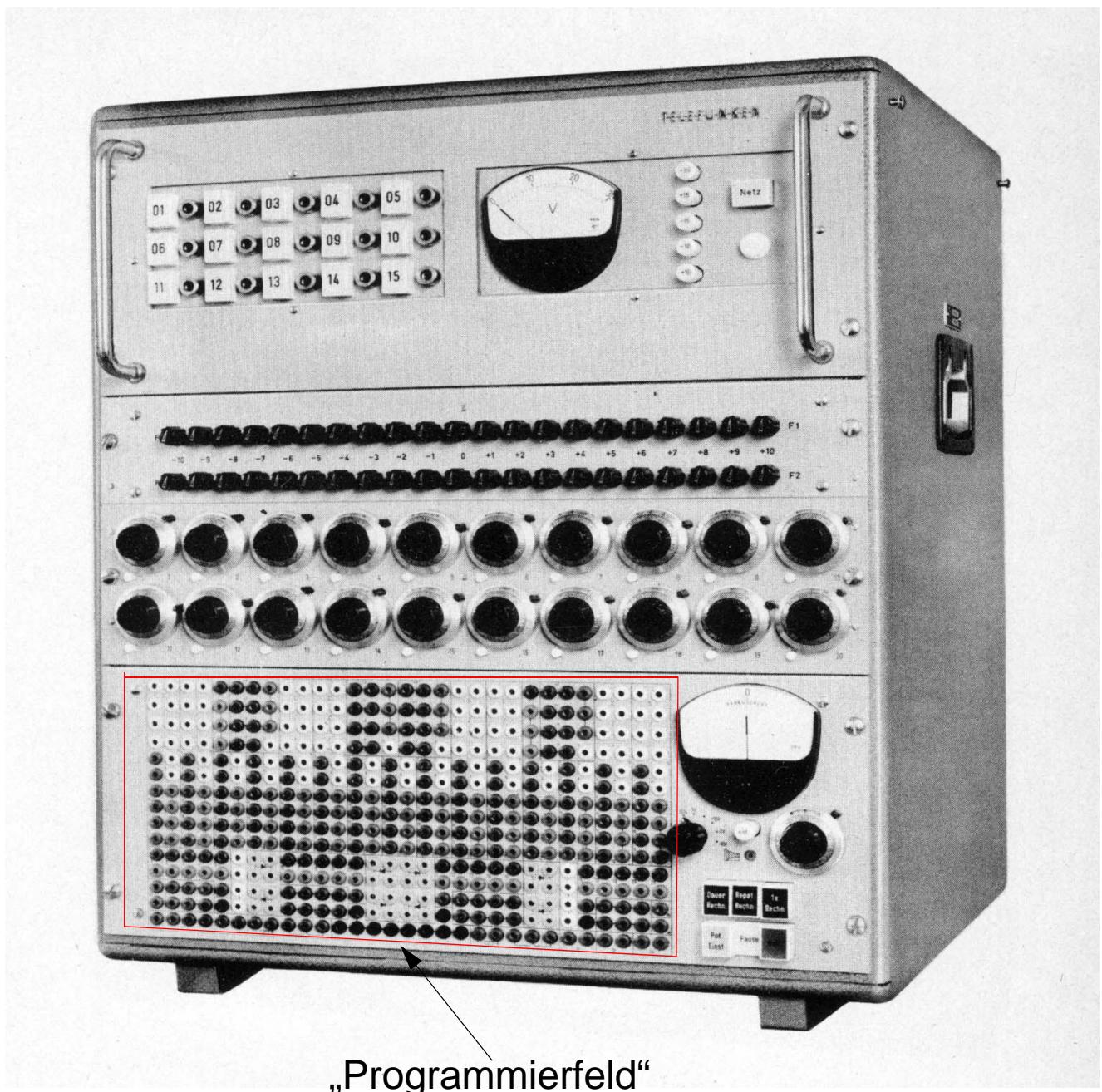
## 6. Datentransporte:

6. 1	Leitungskonzepte/ Fehlerkorrektur / Modems / Multiplexer .....	135
6. 2	V.24 / HP-IB / Coaxialkabel, Fourierzerlegung .....	146
6. 3	Glasfasern (Einteilung, Bandbreite, Dämpfung), EDFA.....	155
6. 4	Netzkomponenten, Manchester-Codierung, ISO-OSI .....	165

---

## 1.1.1 Analogrechner 1

- Baujahr ca. 1960, Hersteller Telefunken
- „Hochparallelisierbare“ Analogtechnik,
- Lösung z.B. nichtlinearer Dgl., Eigenwertprobleme
- Programmierung durch Steckboard
- Reaktion auf Störfunktionen



„Programmierfeld“

## 1.1.2 Analogrechner 2

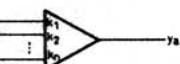
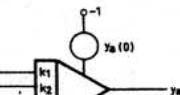
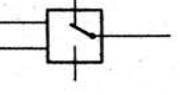
Rechenelement	Schaltsymbol	Wirkungsweise
Koeffizienten-Potentiometer		$y_a = \alpha y_b$ ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )
Summator (Vorzeichenumkehr)		$y_a = - \sum_{i=1}^n k_i y_i$ (Vorzeichenumkehr für $n=1$ ; $k_1=1$ )
Integrator		$y_a = - \int_0^{t^*} \left( \sum_{i=1}^n k_i y_i \right) dt^* + y_a(0)$
Funktionsgeber		$y_a = f(y_b)$
Multiplikator		$y = x_1 x_2$ bzw. Kurzbezeichnung
Komparator		Der Kontakt liegt oben, wenn $x_1 > x_2$ unten, wenn $x_1 < x_2$

Bild 1.3 Symbole der Rechenelemente

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{d(\lambda_1 t)} &= \frac{A_{11}}{\lambda_1} Y_1 + \frac{A_{12}}{\lambda_1} \frac{y_2 \max}{y_1 \max} Y_2 + \dots + \frac{A_{1n}}{\lambda_1} \frac{y_n \max}{y_1 \max} Y_n \\ \frac{dy_2}{d(\lambda_2 t)} &= \frac{A_{12}}{\lambda_2} \frac{y_1 \max}{y_2 \max} Y_1 + \dots + \frac{A_{2n}}{\lambda_2} \frac{y_n \max}{y_2 \max} Y_n \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \\ \frac{dy_n}{d(\lambda_n t)} &= \frac{A_{n1}}{\lambda_n} \frac{y_1 \max}{y_n \max} Y_1 + \dots + \frac{A_{nn}}{\lambda_n} Y_n \end{aligned}$$

(4.34)

mit den Anfangswerten (4.33), die nun  $Y_i(0) = y_i(0)/y_i \max$  ( $i = 1, \dots, n$ ) heißen. Die Rechenschaltung von Bild 4.11 löst die Differentialgleichungen

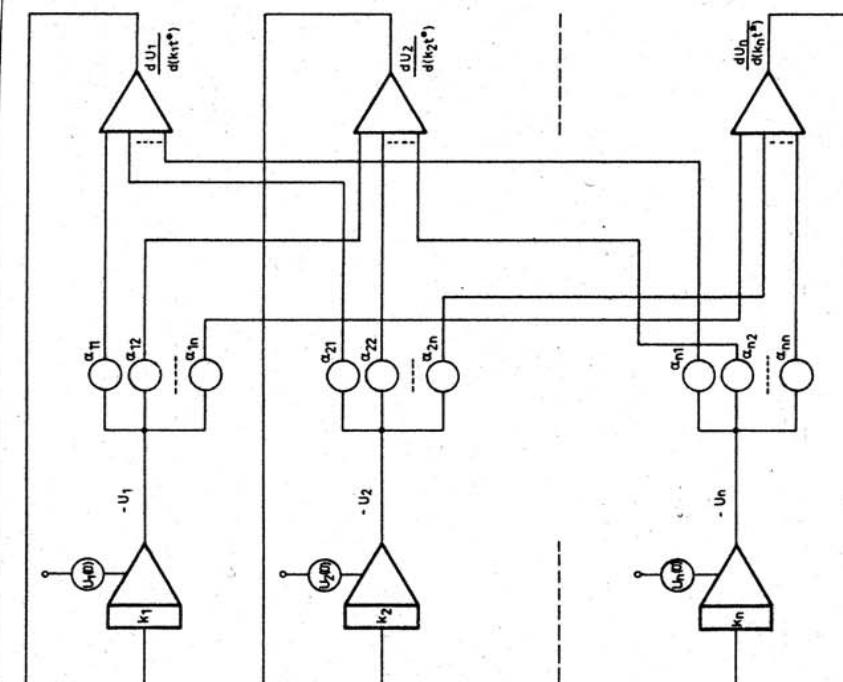


Bild 4.11 Rechenschaltung für das Gleichungssystem (4.34)

## 1.1.3 Analogrechner 3

# Inhaltsverzeichnis aus „Rechenanleitung für Analogrechner“ von Dr. W. Giloi und Dr. R. Herschel, 1961

<b>Vorwort</b>	9
<b>1. Einführung</b>	11
<b>2. Rechenelemente</b>	17
<b>2.1 Lineare Elemente</b>	17
2.11 Potentiometer	17
2.12 Summierende Verstärker (Summator)	18
2.13 Integrierende Verstärker (Integrator)	20
<b>2.2 Nichtlineare Rechenelemente</b>	22
2.21 Dioden	22
2.22 Multiplikatoren	22
2.23 Funktionsgeber	25
2.24 Relais	26
<b>3. Normierung</b>	27
3.1 Normierung der abhängigen Variablen (Amplitudennormierung)	27
3.2 Normierung der unabhängigen Variablen (Zeitnormierung)	28
<b>4. Lineare Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten</b>	32
4.1 Das Lösungsprinzip	32
4.2 Systeme von linearen Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten	41
4.3 Erzeugung von Störfunktionen	50
4.4 Schlußbemerkungen	54
<b>5. Spezielle Rechenoperationen</b>	57
5.1 Dividieren	57
5.2 Wurzelziehen	59
5.3 Differenzieren	60
5.4 Berechnung von Funktionen einer anderen unabhängigen Variablen als der Zeit	64
<b>6. Lineare Differentialgleichungen mit variablen Koeffizienten</b>	66
6.1 Beschränkte Koeffizienten	67
6.2 Die Koeffizienten sind nicht beschränkt	69
6.3 Die Technik des offenen Verstärkers	76
<b>7. Erzeugung spezieller Funktionen</b>	79
<b>7.1 Spezielle Nichtlinearitäten</b>	79
7.11 Betragsbildung	79
7.12 Begrenzerfunktion	82
7.13 Tote Zone	84
7.14 Signumfunktion	85
7.15 Hysterese und Getriebelose	87
7.16 Demodulation (Hüllkurve einer Schwingung)	89
<b>7.2 Komparatoren</b>	92
<b>7.3 Erzeugung stetiger Störfunktionen</b>	93
7.31 Erzeugung einer Gleitfrequenz	94
7.32 Funktionen vom Exponentialtypus	98
<b>7.4 Erzeugung unstetiger Störfunktionen</b>	102
<b>7.5 Die Nachbildung einer Laufzeit (Totzeit)</b>	105
<b>8. Nichtlineare Differentialgleichungen</b>	111
<b>9. Eigenwertprobleme</b>	121
<b>10. Die Nachbildung von Regelsystemen</b>	125
10.1 Die Darstellung eines gegebenen Übertragungssystems	125
10.2 Die Behandlung von Blockschaltbildern	129
10.3 Ein Beispiel	130
10.4 Behandlung nichtlinearer Regelprobleme	134
10.5 Untersuchung von Abtastsystemen	135
Simulation typischer Übertragungsfunktionen (zu Abschnitt 10.1)	140
Nachtrag zur Wahl der Symbole	153
Anhang	155

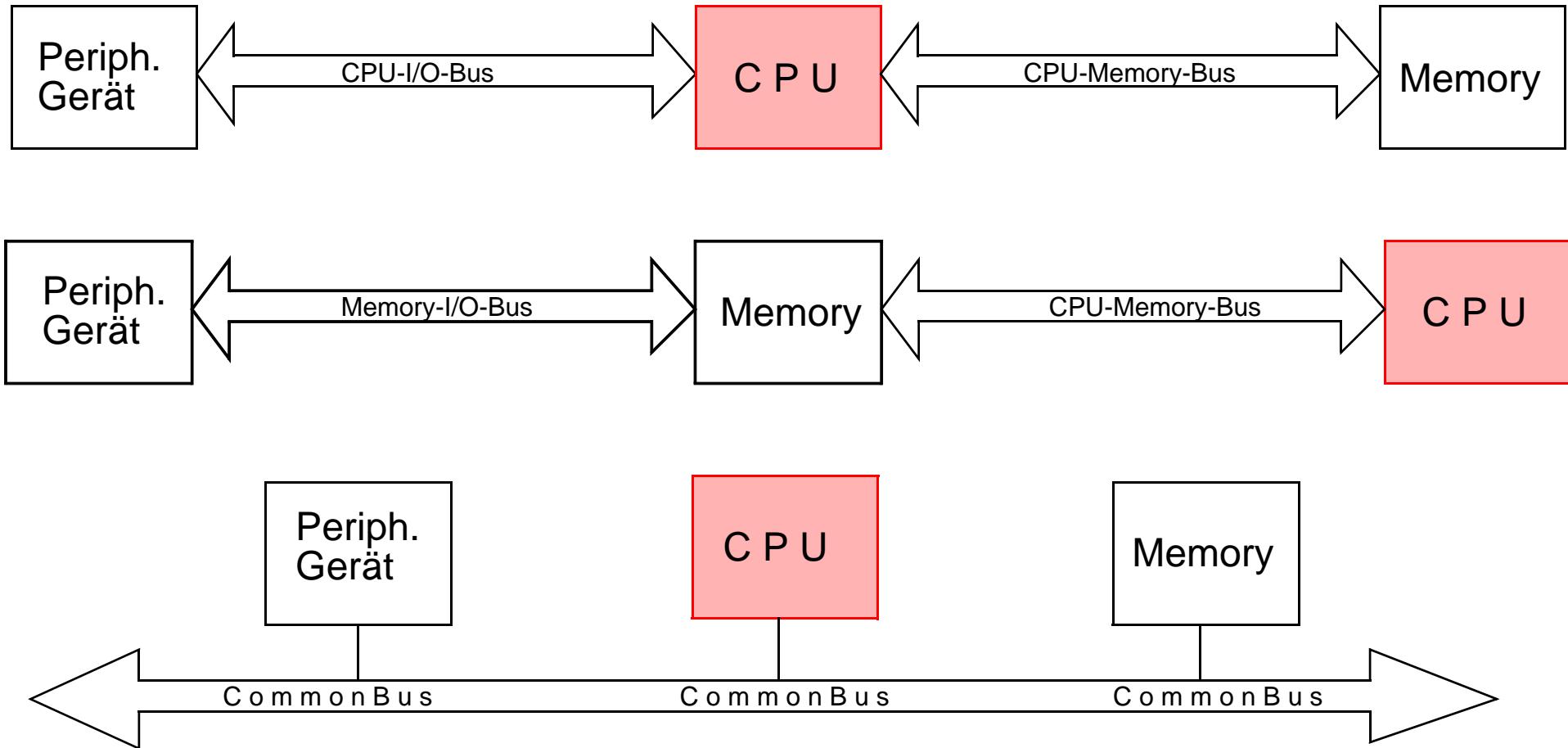
## 1.2 Infrastruktur

- Klimatisierung erforderlich, ja / nein
  - Temperatur-Intervall
  - Staubgrad
  - Feuchte-Intervall
- Wartungsverträge (Hardware, Software)
- Erschütterungen, z.B. an Hauptverkehrsstraße
- Spannungskonstanz, Spannungsspitzen, Power Fail
- Topologie (Lastenaufzug, Türbreite,...) im Gebäude
- Netztopologie im Gebäude
- Länge von Subnetzen, bzw. Totallänge

## 1.3 Konfiguration

- Darstellung der logischen Verknüpfung von CPU und Peripherie in einem „Schema“
- Meist stark herstellerabhängig strukturiert
- Normalerweise mit „Kästchen“ und Linien
- Art der Kabel und deren Güte
- Stichleitung oder Netzanschluß
- Manchmal Angabe von Datenraten auf Kanälen
- Erforderlich: Angabe der Leitungs-Protokolle

# 1.4 Buskonzepte



## 1.5 Netzfähigkeit

Woran erkennt man die Netzfähigkeit eines Peripherie-Geräts?

- Ein lieber Mensch hat einen Zettel mit der Adresse angeklebt

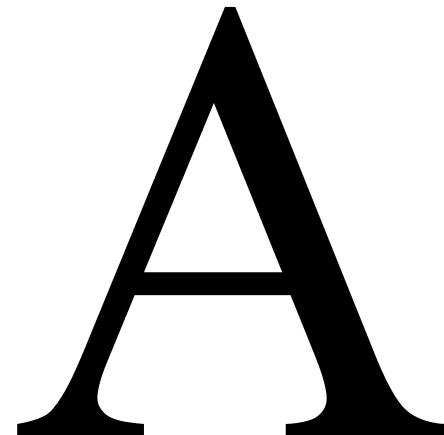
Internet 129.69.126.27  
Ethernet 8:0:23:2:b:11  
Serial-Number 231FG04856  
HostID 45008721

- Das Gerät hat ein „Mäuseklavier“, auf dem „Adresse“ steht
- Das Gerät hat einen Netzeingang (BNC, Cannon, ...)
- Der Hersteller behauptet, es sei netzfähig (Vorsicht!!)
- Der Benutzer kennt die Gerätefamilie

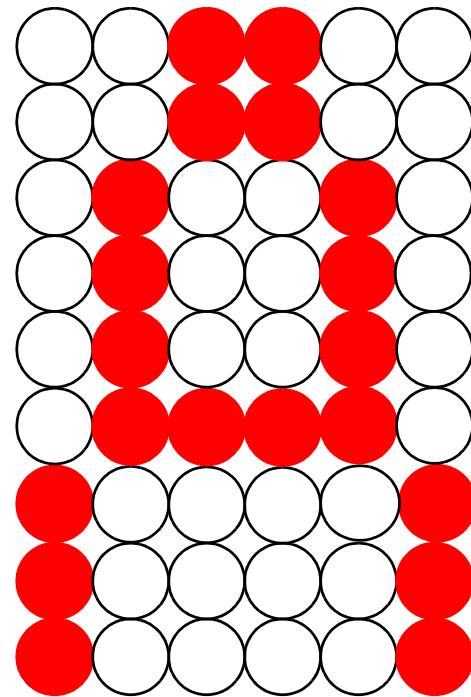
## 1.6 Definition: Peripheriegerät

- Ein Peripheriegerät erbringt eine „Dienstleistung“ für den Benutzer, ein Blick ins Inhaltsverzeichnis zeigt die Bandbreite
- Diese Dienstleistung ist
  - sichtbar (Paper Output)
  - unsichtbar (Postscript-Umwandlung im Drucker)
- Es muß unterschieden werden zwischen **aktiven** (Codewandlung) und **passiven** Diensten (statisches Multiplexing)
- Ganz profan: „Alles außer dem Rechenwerk“
- mit Sicherheit ist ein X-Terminal ein PerGer, eine Diskless Workstation ist in der Grauzone

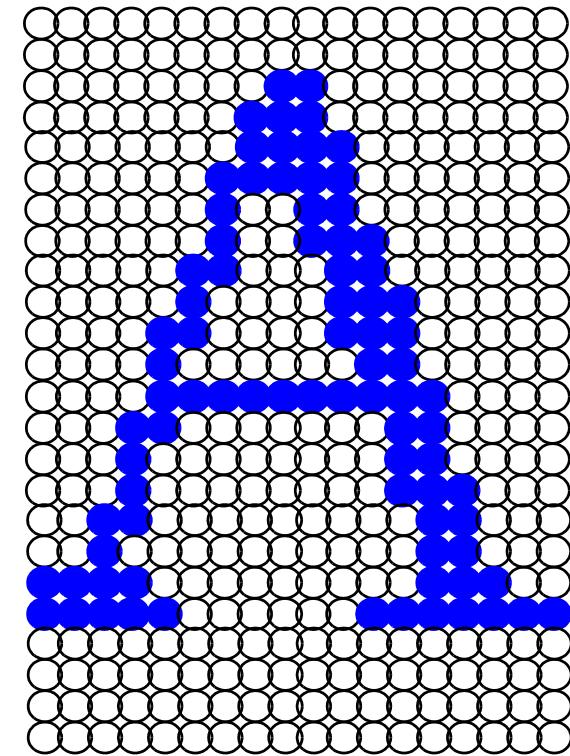
## 2.1.1 Typografie oder die Kunst des Schreibens



Buchdruckletter



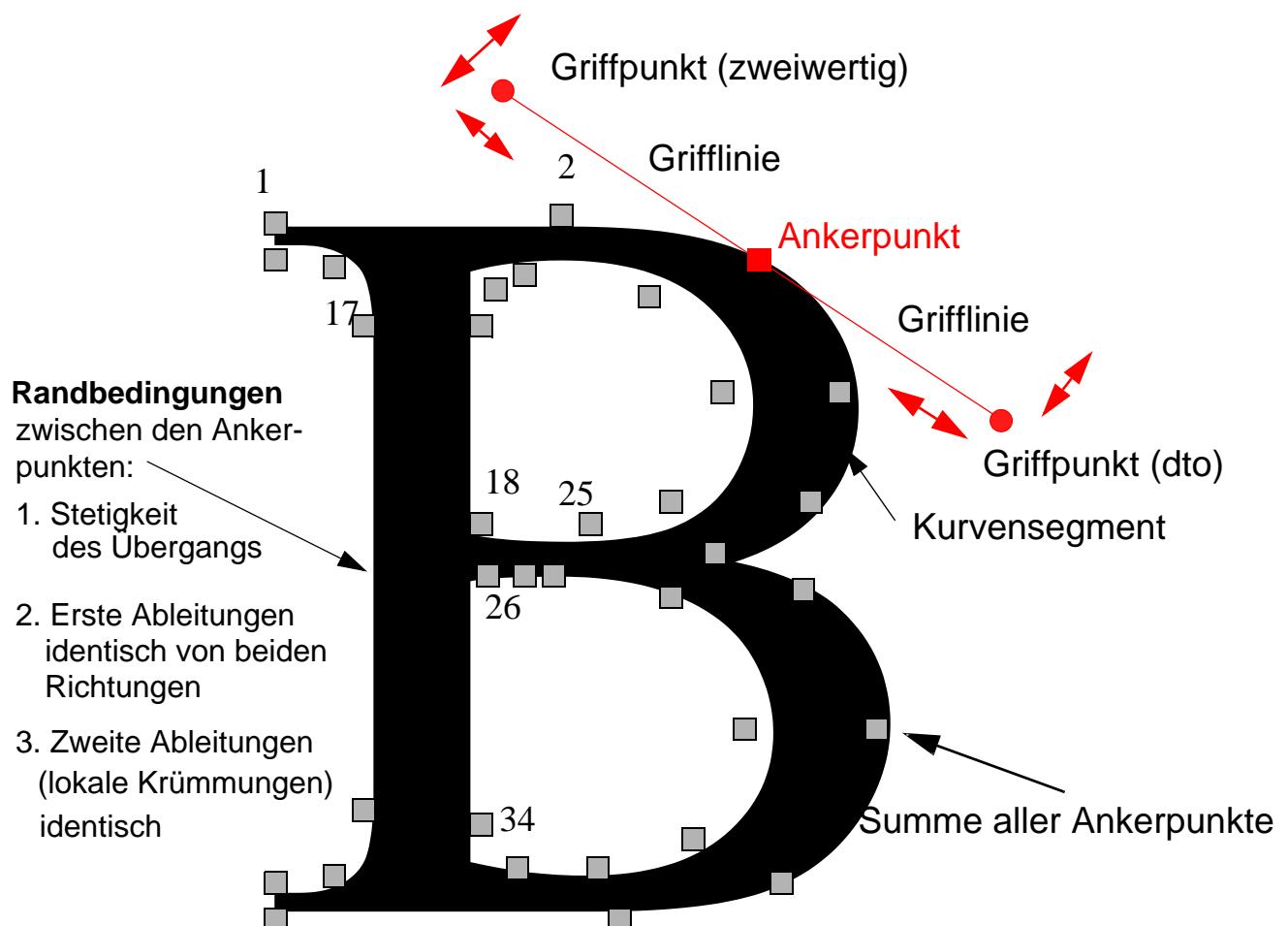
9-Nadler (6x9 Matrix)



Laserdrucker (18x24 Matrix)

## 2.1.2 Typografie, Kalligrafie

### Bézier-Kurven

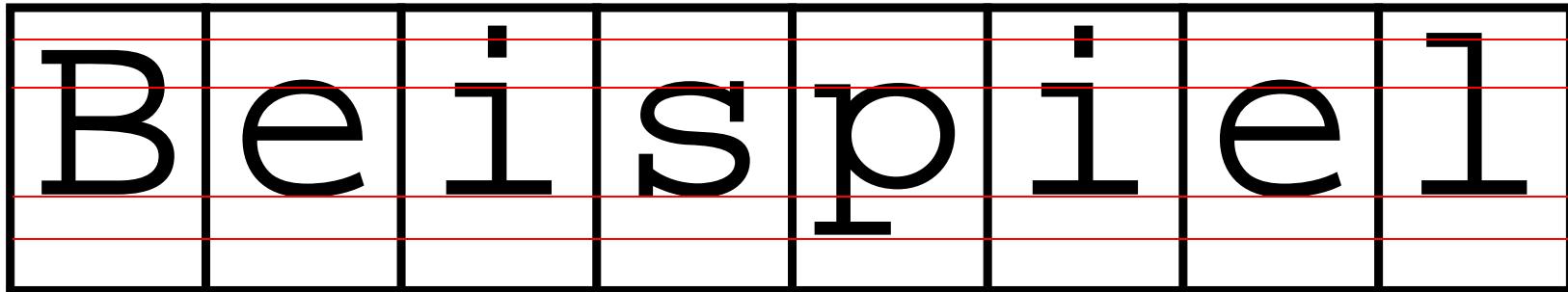


Bézier-Kurven sind durch vier Kontrollpunkte definiert.  
Diese wiederum werden durch die Griffpunkte an den Enden der beiden Grifflinien (Tangenten der Kurve) gebildet.

Die Position von Griffpunkt und Grifflinie im Verhältnis zueinander bestimmt Größe und Form des Kurvensegments.

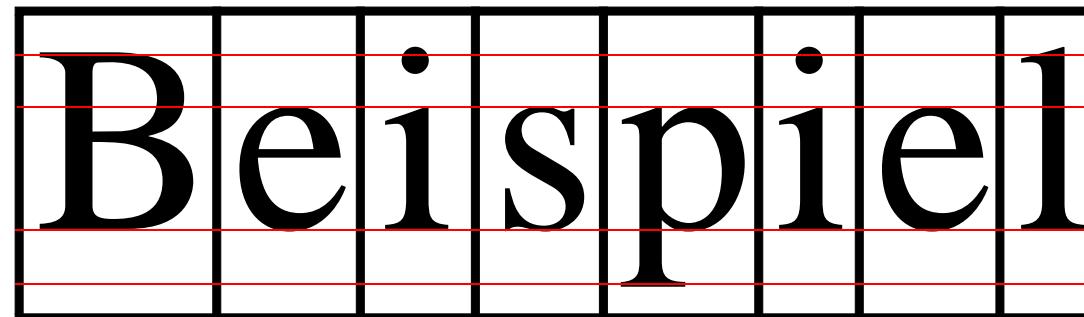
## 2.1.3 Typografie

**Un-Proportional:** Gleicher Abstand (Kasten um jede Letter)



Schrift: Courier, Größe: 100 pt.

**Proportional:** Ungleicher Abstand



Schrift: Bookman, Größe: 100 pt.

### Serifen- und seriflose Schriften

Times New Roman

Arial

Bookman Old Style

Flair Roman

adjl

adjl

adjl

*adjl*

AJM

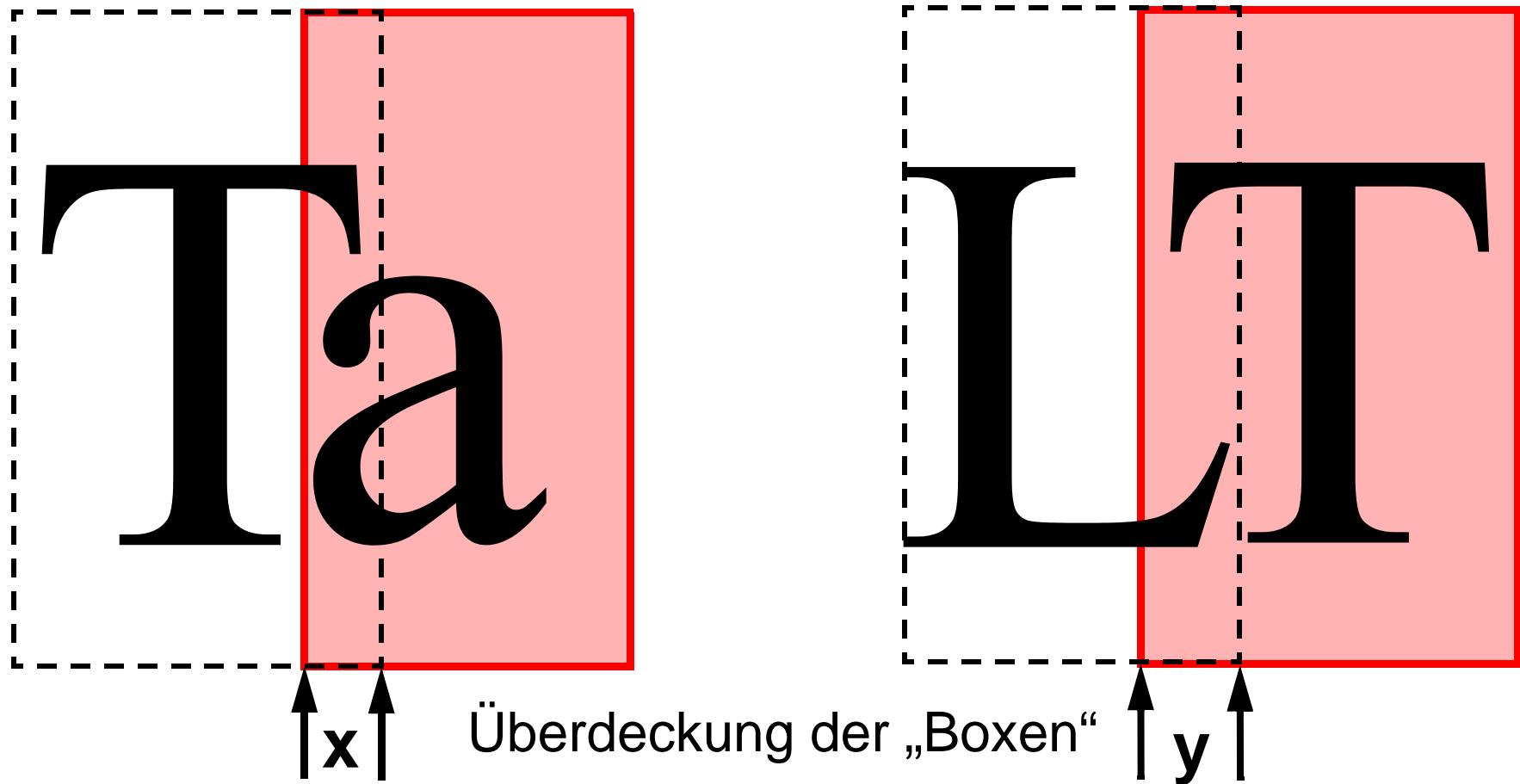
ATL

AML

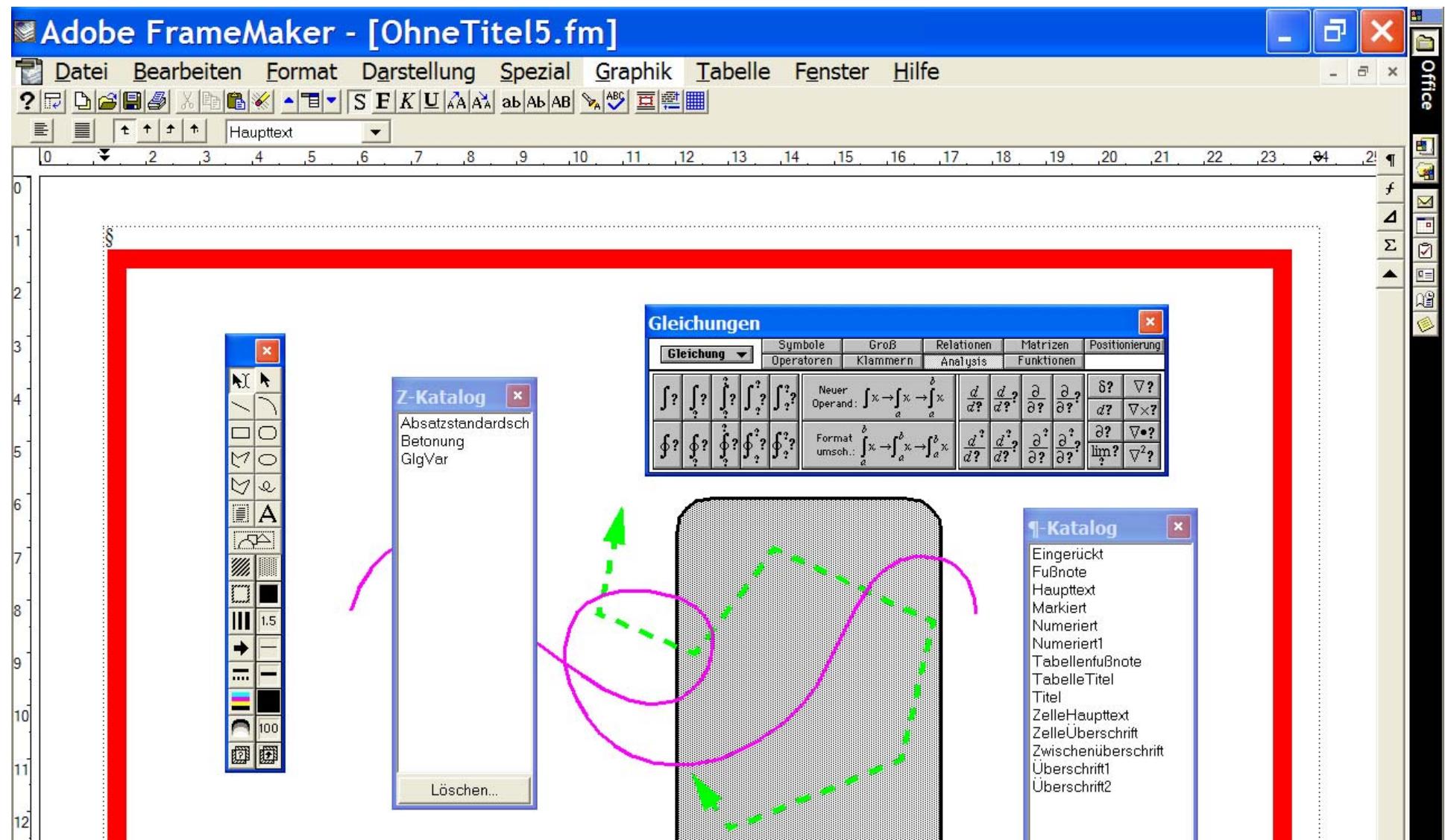
*AJL*

## 2.1.5 Kalligrafie, Typografie

Unterschneiden bei Proportionalschriften (Kerning)



## 2.1.6 Textsysteme z.B. Framemaker



## 2.1.7 PostScript™

```
%!PS-Adobe-3.0
%%Title: (Lehrangebot WS 1994/95)
%%Creator: (FileMaker Pro: LaserWriter 8 8.1.1)
%%CreationDate: (12:02 Uhr Mittwoch, 29. Juni 1994)
%%For: (ISE-Macs)
%%Pages: 1
%%DocumentFonts: Helvetica-Bold Helvetica
%%DocumentNeededFonts: Helvetica-Bold Helvetica
%%DocumentSuppliedFonts:
%%DocumentData: Clean7Bit
%%PageOrder: Ascend
%%Orientation: Portrait
%ADO_PaperArea: -6 -9 836 586
%ADO_ImageableArea: 0 0 828 576
%%EndComments
/nd 141 dict def md begin
/currentpacking where {pop /sc_oldpacking currentpacking def true setpacking}if
%%BeginFile: adobe_psp_basic
%%Copyright: Copyright 1990-1993 Adobe Systems Incorporated. All Rights Reserved.
/bd{bind def}bd def
/xd{exch def}bd
/xs{exch store}bd
/ld{load def}bd
/z{0 def}bd
/T/true
/F/false
/:L/lineto
/lw/setlinewidth
/:M/moveto
/r1/rlineto
/rm/rmoveto
/:C/curveto
/:T/translate
/:K/closepath
/:mf/makefont
/gS/gsave
/gR/grestore
/np/newpath
14{ld}repeat
/$m/matrix def
/av 81 def
/po{true def}
/normland{false def}
/psb-nosave{}bd
/pse-nosave{}bd
/us Z
/psb{/us save store}bd
/pse{/us restore}bd
/level2
/languagelevel where
```

```
134 540 134 73 rC
137 582 :M
f1_12 sf
.592 .059(Automatisierung des )J
137 596 :M
(techn. )S
137 610 :M
.329 .033(Informationsflusses I)J
gR
gS 151 540 58 90 rC
152 626 :M
f1_12 sf
.248(Vorlesung)A
gR
gS 135 540 9 90 rC
136 626 :M
f1_12 sf
(1)S
0 0 0 0 rC
146 673 :M
f1_8 sf
(1)S
gR
1 lw
gS 136 667 8 40 rC
137.5 668.5 5 5 rs
0 0 0 0 rC
146 681 :M
f1_8 sf
(2)S
gR
gS 136 667 8 40 rC
137.5 676.5 5 5 rs
0 0 0 0 rC
146 689 :M
f1_8 sf
(3)S
gR
gS 136 667 8 40 rC
137.5 684.5 5 5 rs
0 0 0 0 rC
146 697 :M
f1_8 sf
(4)S
gR
gS 136 667 8 40 rC
137.5 692.5 5 5 rs
0 0 0 0 rC
146 705 :M
f1_8 sf
```

Seitenbeschreibung auf  
2 von insgesamt 77 Seiten  
für 1 Seite Output

## 2.1.8 Hoch- / Tiefdruck

### Hochdruck (Lettern stehen hoch)



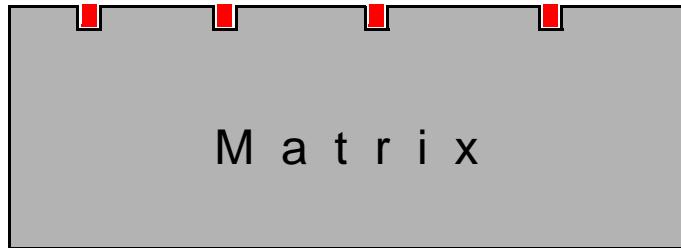
“Druckerschwärze” (das ist jede der verwendeten Farben) wird meist mit einer rotierenden Farbtrommel “aufgerieben”. Tieferstehende Teile der Matrix dürfen nicht eingefärbt werden.

Lettern oder auch Raster.

Material: meist Stahl, Anpressdruck mittel

Buchdruck, Holzschnitt

### Tiefdruck (Druckerschwärze in den Vertiefungen)

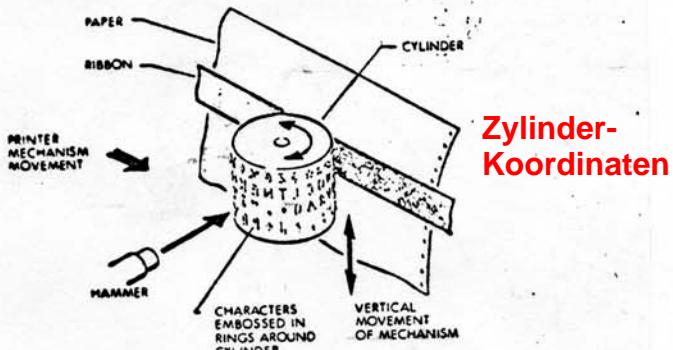


Der Farbträger wird meist mit einem “Ballen” so aufgerieben, dass die Oberfläche keinerlei Farbträger enthält, sondern nur die meist linienartigen Vertiefungen (Tiefe max. 0,05 mm). Diese werden graviert (z.B. Geldscheine), gestochen (Kupfer-, Stahlstich) oder geätzt (Cu, Zn). Sonderform: Steinoberfläche partiell mit Fettschicht, Lithografie.

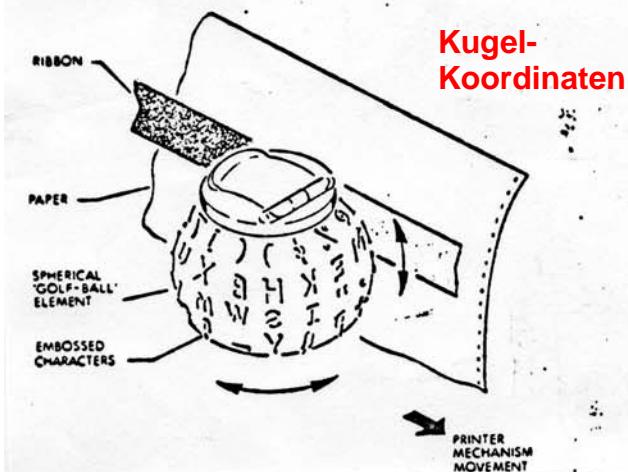
Anpressdruck hoch, da Papier Farbe “saugen” muss.

## 2.2.1 Generelles ... Impact

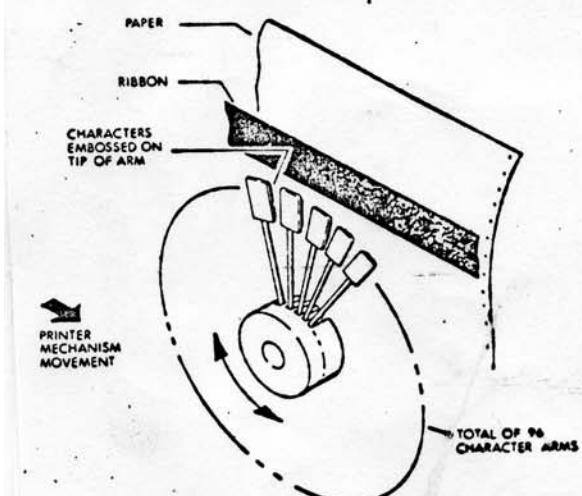
**A. Cylinder printer.** Complete character set is embossed in series of rings around cylinder printing mechanism. Cylinder is rotated and shifted up and down on its axis to move appropriate character into position; then, a hammer strikes cylinder



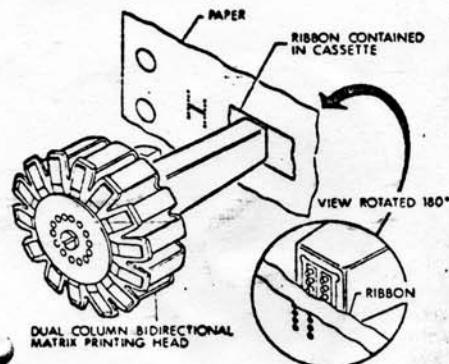
**B. Ball printer.** Updated version of cylinder printer uses spherical print mechanism. Sphere rotates on its axis to move selected character into position; sphere itself strikes paper



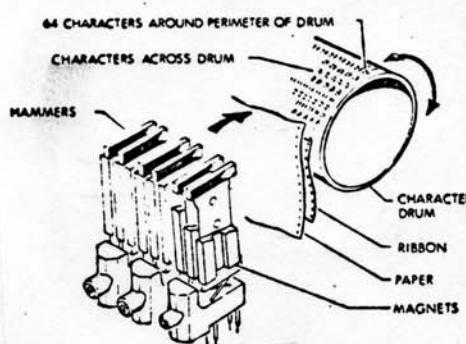
**C. Daisy wheel printer.** Set of spokes or arms, each with single character embossed at its end, radiates from wheel hub. Hub rotates to bring desired character into position, where it is struck by hammer mechanism



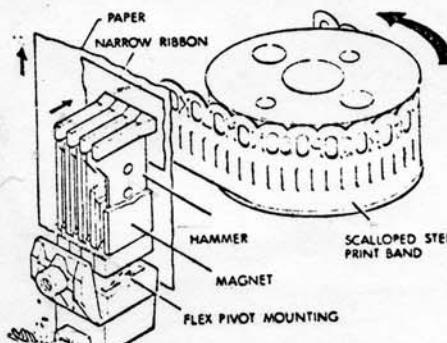
**D. Impact matrix printer.** Serial printhead consists of vertical column or columns of needles that move across page. Characters are formed as needles are selectively forced against paper. Each complete sweep of printhead across page produces line of print. In line printer, set of raised dots or needles is mounted on wide horizontal bar or comb. Bar slides from left to right, and needles strike to form character dots that produce one row. Complete characters are formed as paper is moved to successive rows



**E. Drum printer.** Drum, with characters embossed on each print position on its periphery, revolves past hammer bank. Hammer impact occurs when characters on drum are in proper position. Rear-striking hammer motion then forces paper and ribbon against drum to form character on paper

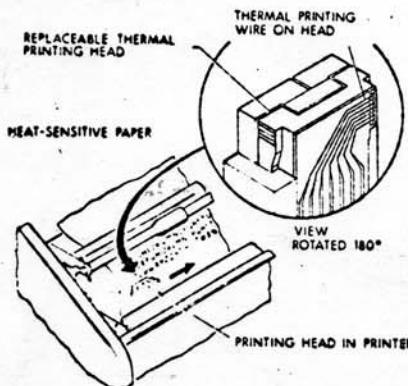


**G. Band or belt printers.** These printers use same techniques as train printers, but characters are carried by bands or belts. Illustrated is steel band containing embossed or etched characters. Another polyurethane belt mechanism carries slugs with type faces

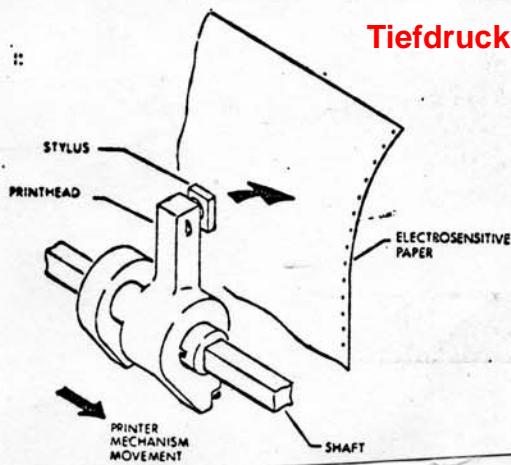


## 2.2.2 Generelles... Nonimpact

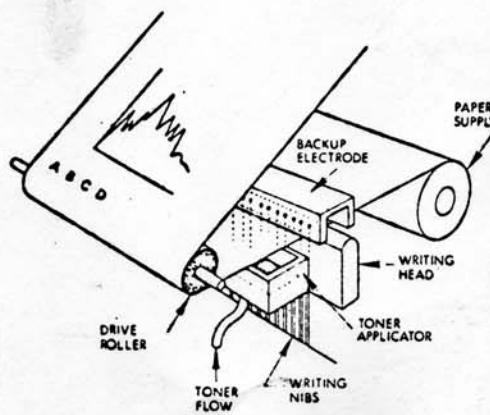
**A. Thermal matrix printer.** Heat sensitive paper changes color with applied heat. Characters are formed by selectively heating head matrix elements while moving across paper



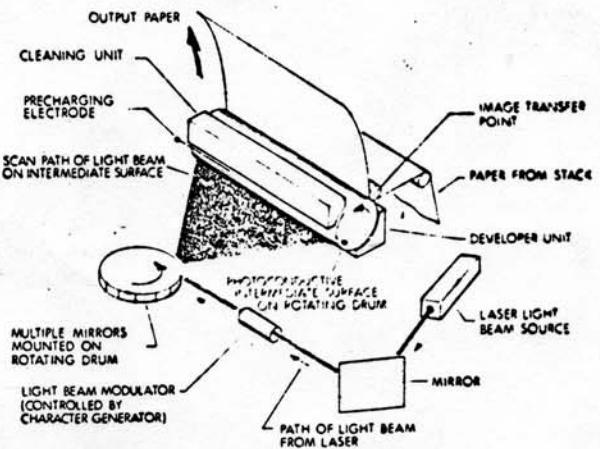
**B. Electrosensitive printer.** Thin metallic coating of electrosensitive paper burns away with applied head voltage, exposing the black underlayer. Voltage is selectively applied to head matrix as it moves across paper to form characters



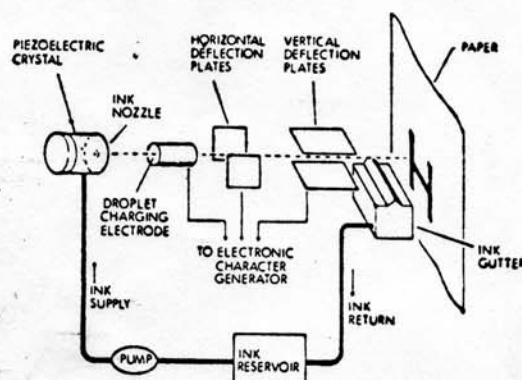
**C. Electrostatic printer.** Specially coated dielectric paper is passed over array of stylus needles. Voltage is selectively applied to needles, and characters are formed as charged spots on paper. Paper is then passed through toner where charged areas attract black particles



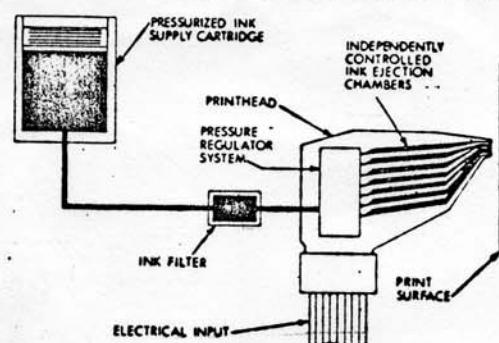
**D. Xerographic printer.** Latent image from light source is created on intermediate, photoconductive surface; this surface is toned with ink powder, and image is transferred electrostatically to output paper and fused into place. One technique uses light source and photographic image to produce latent image. In another approach, laser beam is used to generate high quality, dot matrix character



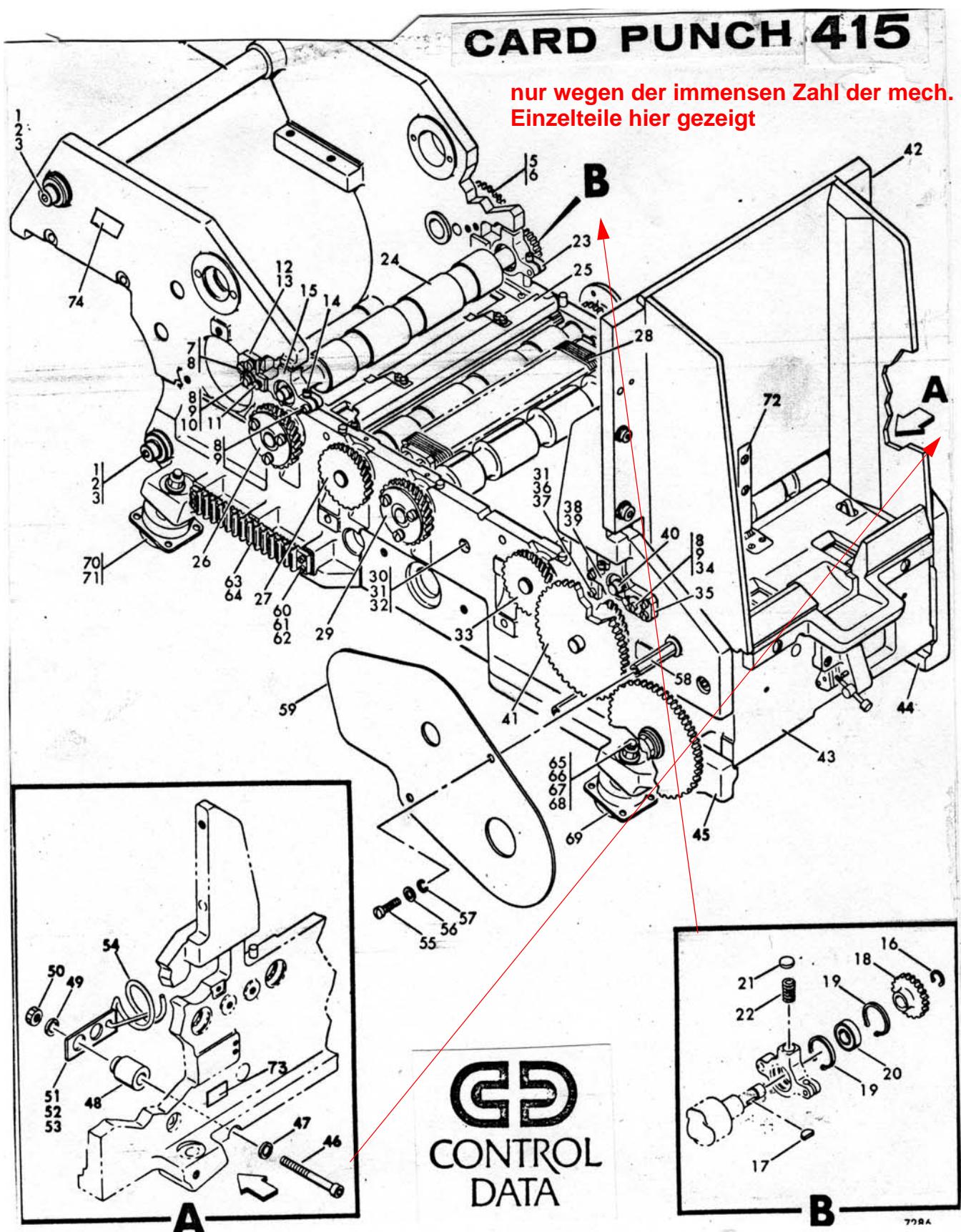
**E. Continuous stream Ink-jet printers.** Controlled, continuous stream of ink droplets forms desired image on paper. Droplets charged according to desired image are aimed by electric field deflectors. Unneeded droplets are deflected down to gutter for recycling



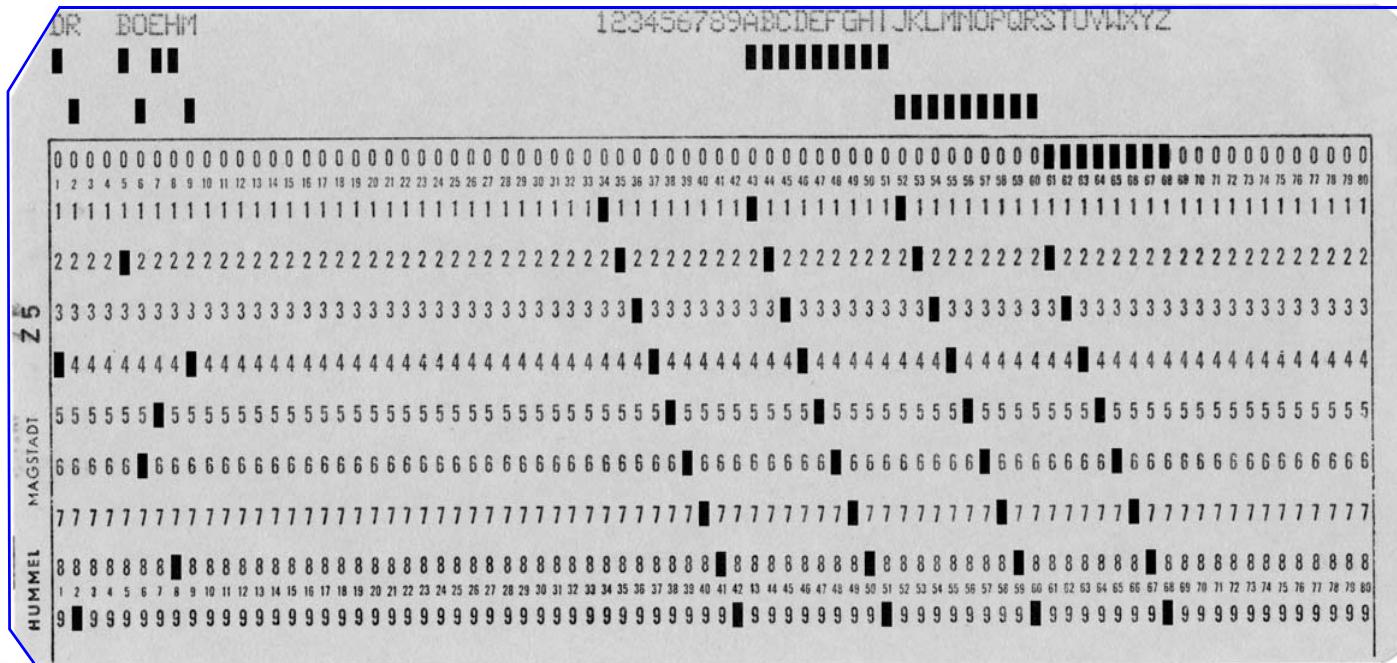
**F. Ink-on-demand Ink-jet printers.** Droplets are created when desired by ink injection chambers from ink supply. Droplets so produced form matrix characters similar to those formed by impact matrix heads



### **2.3.1 Lochkartenstanzer**



## 2.3.2 Lochkarte



### Lochkarten-Code:

**0 ... 9:** 1 aus 10, 0 = 0 in Reihe mit den Nullen,  
**5:** 5 = 5 in der 5'er Reihe

**A ... I:** erste Reihe oben und 1 aus 9

**J... R:** zweite Reihe oben und 1 aus 9

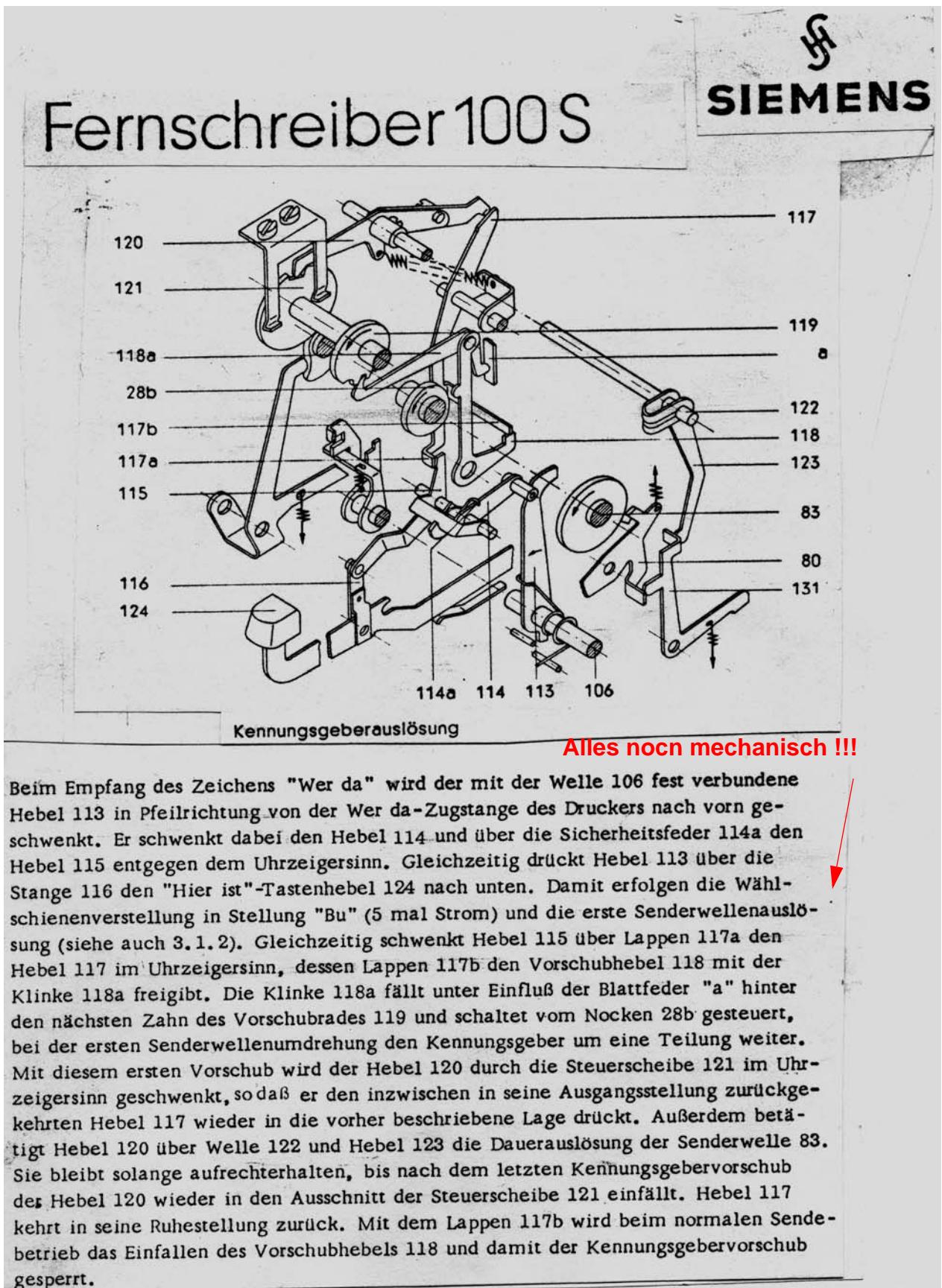
**S ... Z:** dritte Reihe oben (0) und 1 aus 9

**Sonderzeichen:** 2 oder 3 aus 12

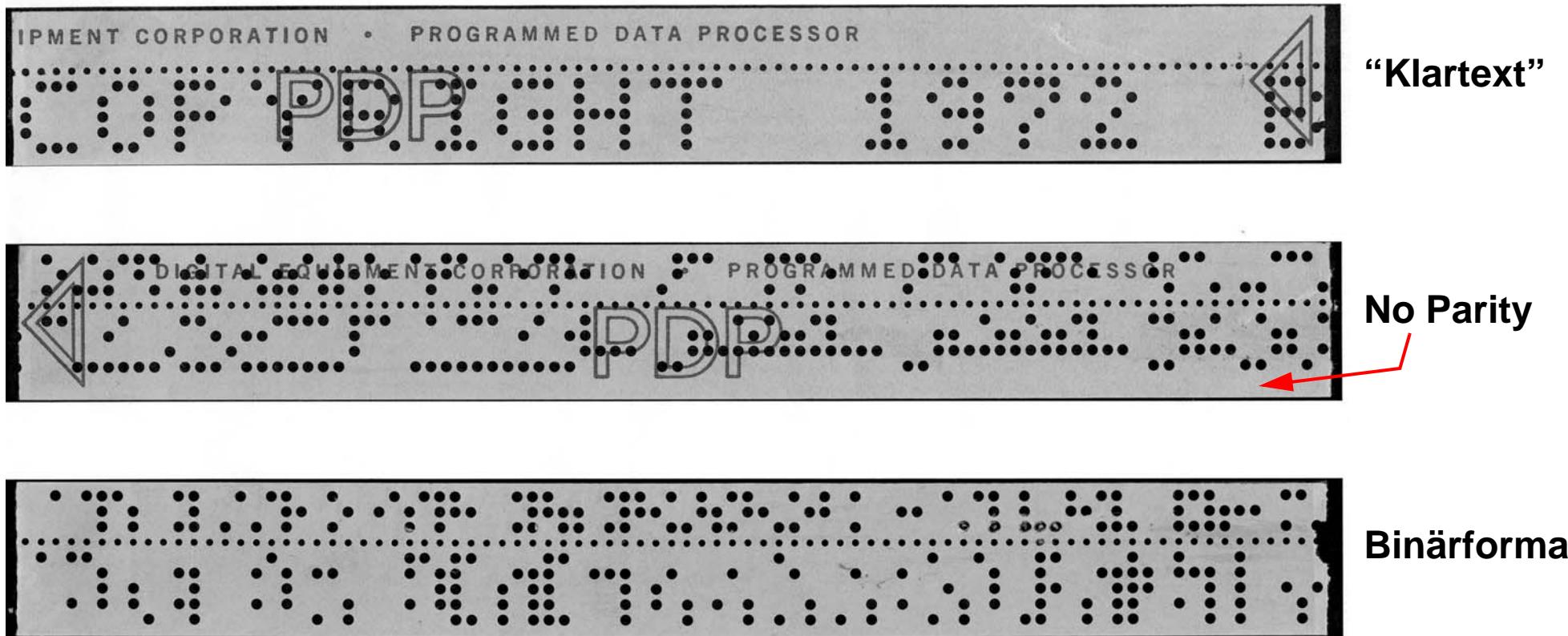
Maschinell Lesen / Manuell stanzen



## 2.3.3 Fernschreiber (TTY)

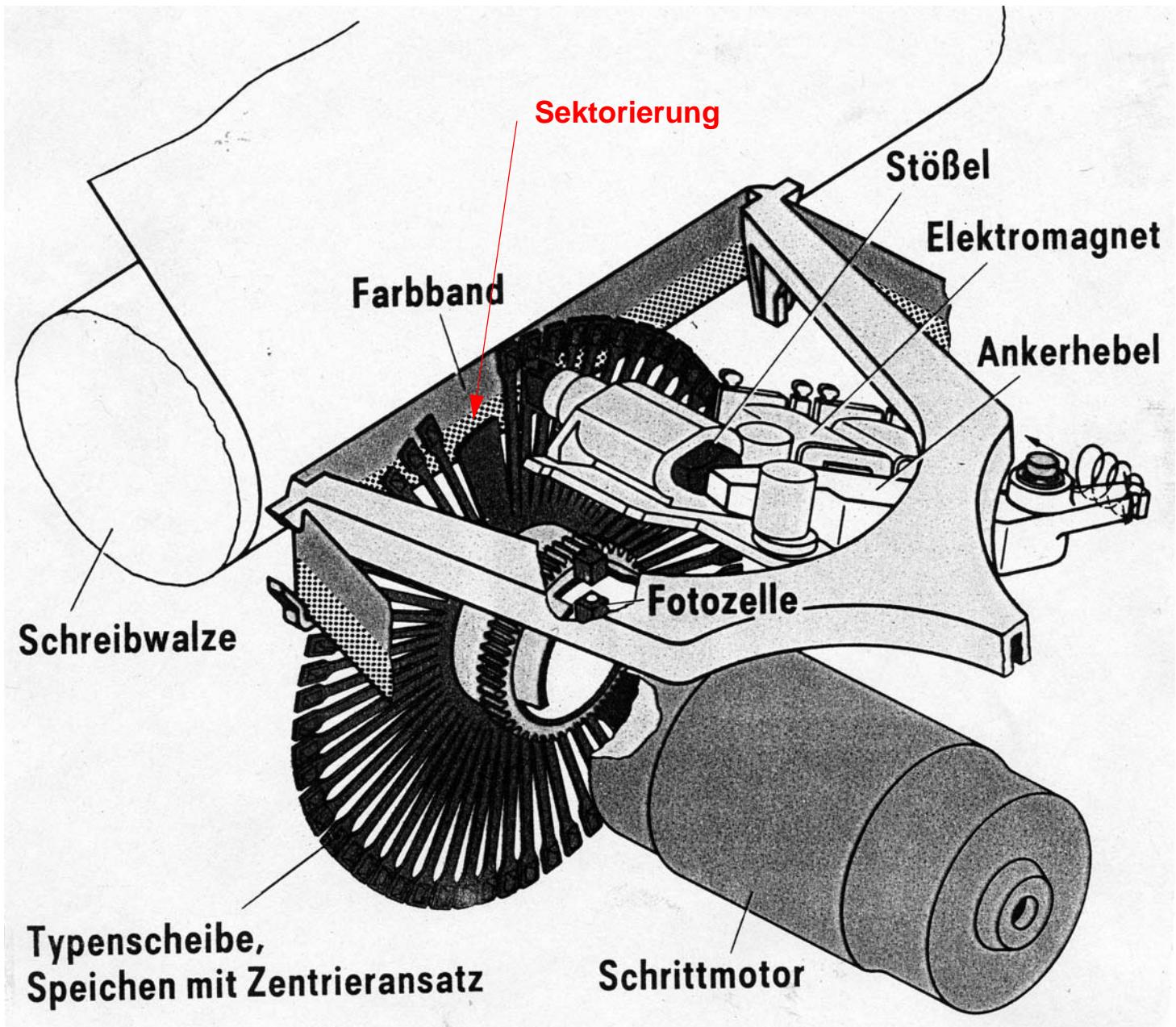


## 2.3.4 Fernschreiber (TTY) -> Lochstreifen

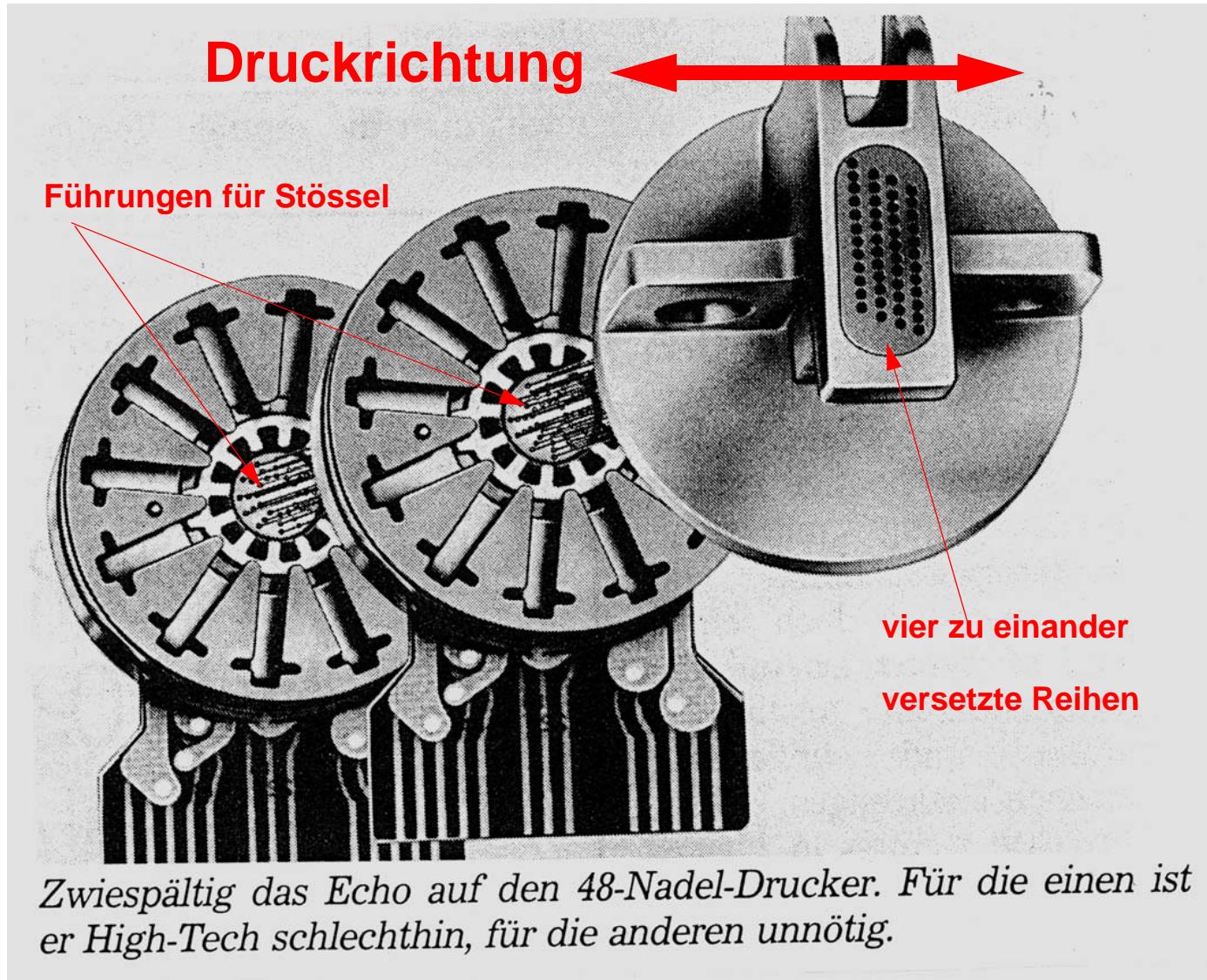


**5 Kanal-Code:**  $2^5$  Möglichkeiten, aber 24 Buchstaben, 10 Ziffern.  
Abhilfe mit 2 Sonderzeichen zum Umschalten

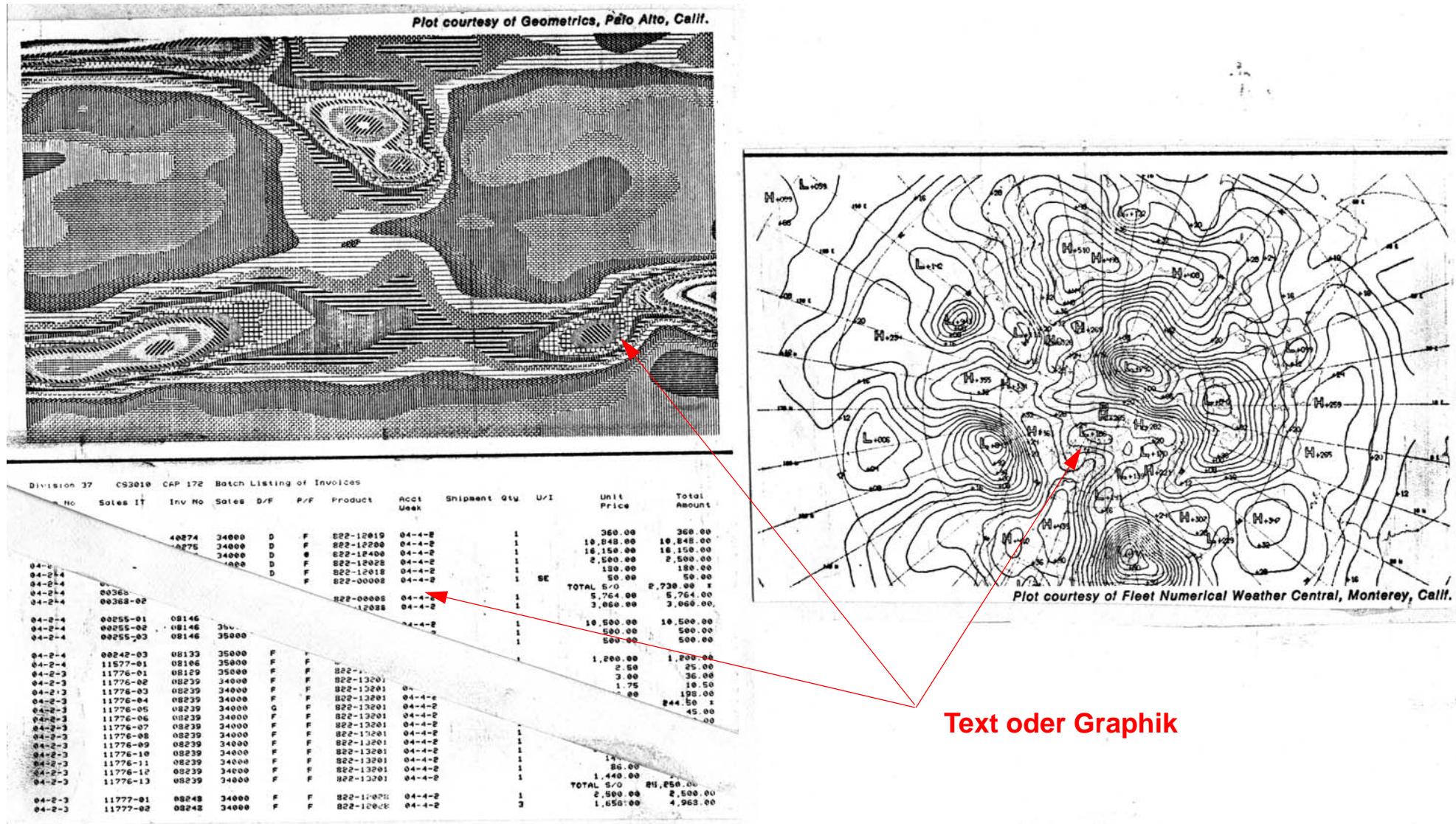
## 2.4.1 Typenrad-Drucker



## 2.4.2 Matrixdrucker



## 2.4.3 Druckfeatures beim Pixeldruck



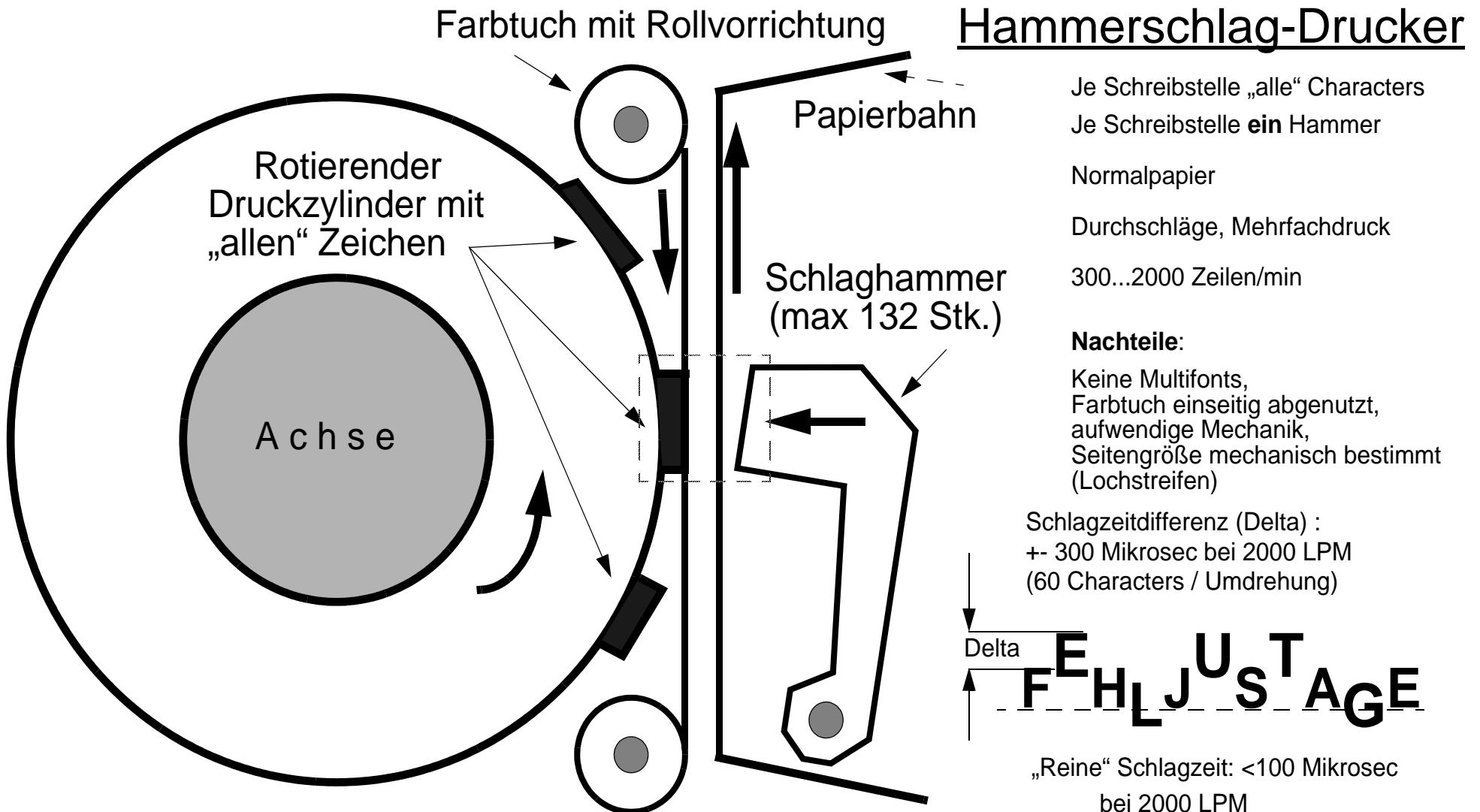
## 2.4.4 Matrixdrucker

Matrixdrucker, auch Nadeldrucker genannt, werden im Leistungsbereich zwischen ca. 200 bis über 500 Zeichen pro Sekunde angeboten. Diese Geschwindigkeitsangabe bezieht sich auf die geringste Druckauflösung. Der LA424 von digital beispielsweise druckt 400 Zeichen pro Sekunde im Schnelldruck (Draft Mode) und 133 Zeichen pro Sekunde im NLQ-Modus (Near Letter Quality). Wichtigstes Qualitätsmerkmal ist die **Anzahl der Nadeln**. Während bei Drucken mit wenigen Nadeln (z.B. neun) eine gute Ausgabequalität nur durch mehrfachen Übereinanderdruck erreicht wird (und damit das Drucken länger dauert), ist ein 24-Nadel-Drucker von vornherein in der Lage, mit höherer Auflösung zu drucken.

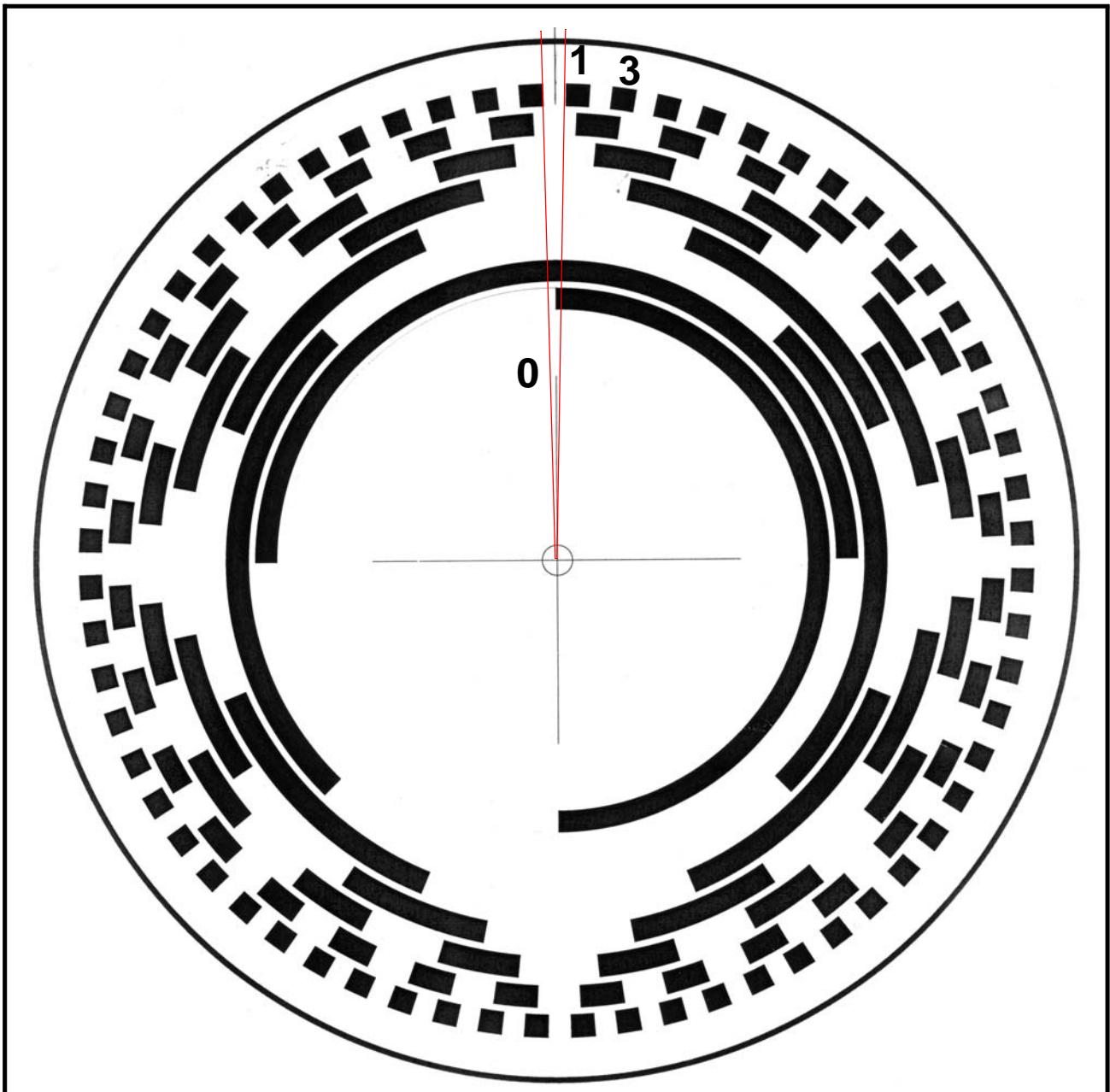
**Grafikdruck** ist mit Nadeldruckern grundsätzlich möglich. Allerdings ist ein Ausdruck von hochwertigen Grafiken in der Regel enttäuschend. Für einfache Darstellungen sowie Strichcodes ist sie jedoch ausreichend. Mit einigen Modellen kann auch farbig ausgedruckt werden. Dazu wird ein Farbband mit verschiedenfarbigen Bereichen verwendet. Je nach gewünschter Druckfarbe wird das Farbband entsprechend positioniert. Durch Mehrfachdruck verschiedener Farben auf einer Stelle können Mischfarben erzeugt werden. Leider ist der Farbwert nicht exakt reproduzierbar.

Vorteil der preisgünstigen Nadeldrucker ist ihre Unempfindlichkeit gegen Umwelteinflüsse und die Fähigkeit Durchschläge zu bedrucken. Ein grosser Nachteil für den Einsatz in Büroumgebungen ist ihre Lautstärke und die mangelnde Druckqualität bei kleiner Nadelzahl.

## 2.4.5 Klassische Geräte, Lineprinter

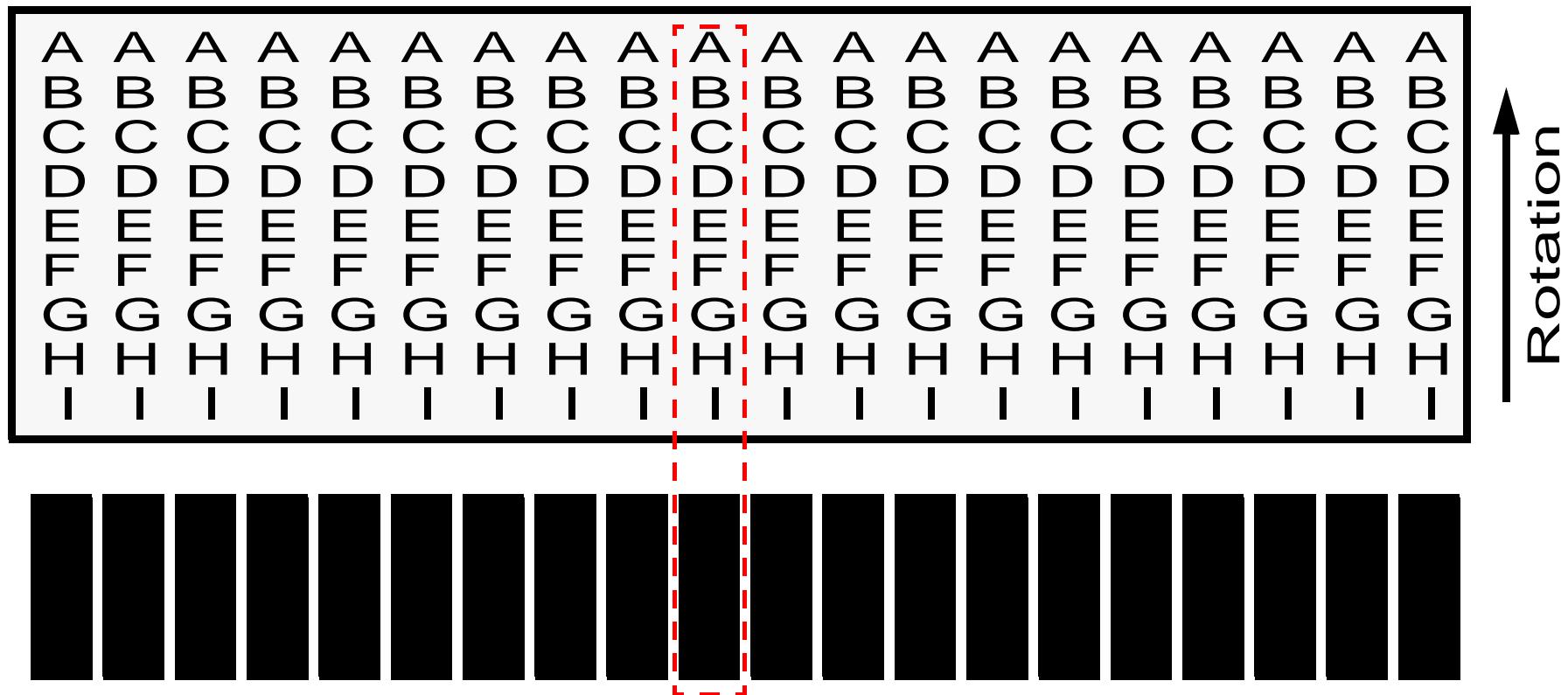


## 2.4.6 Positions-Kontrolle



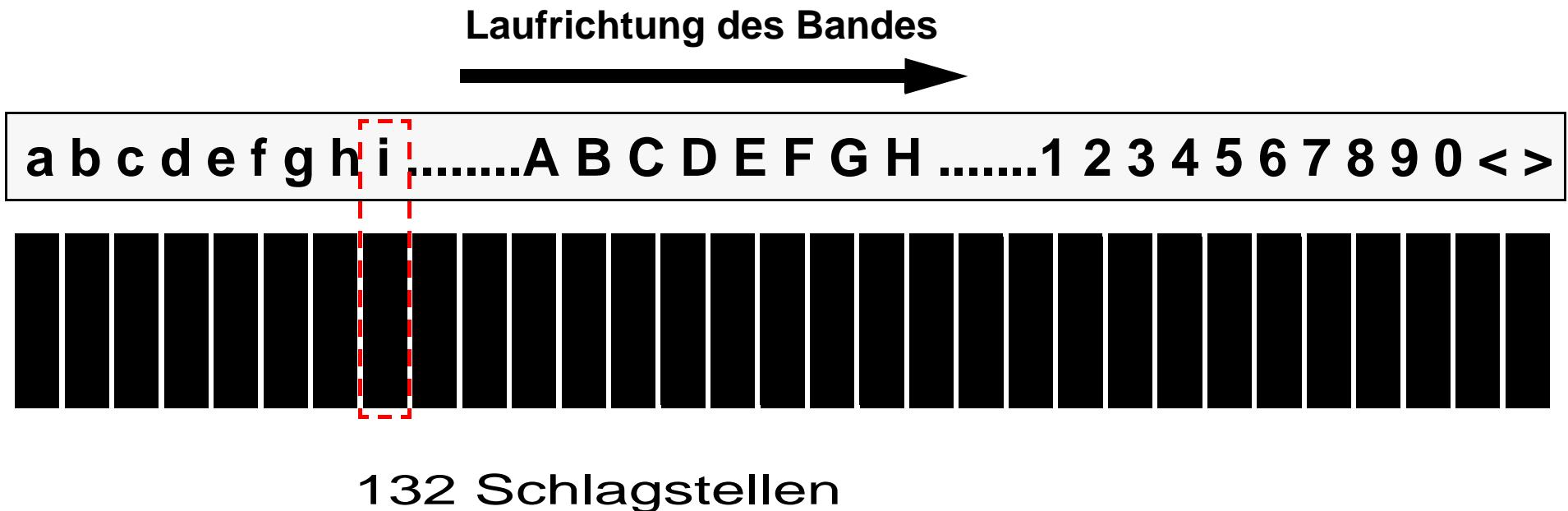
Gray-Code radial. Er unterscheidet sich jeweils nur um binär Eins je Position, dadurch hoch redundant. Obiges Beispiel für  $2^8 = 256$  Positionierungen (z.B. Robotersteuerung). Drucker haben 64 Positionen. Man beachte die beiden innersten Halbkreise.

## 2.4.7 Walzen-Schnelldrucker



132 Schlagstellen, Position über Gray-Code-Scheibe

## 2.4.8 Kettenschnelldrucker



Druckbild liegt genau auf Linie, aber gedehnt und gestaucht  
Die s ist ein Beispiel für den Kettendrucker

## 2.4.9 IBM Punktkettendrucker

**Matrix:** 8\*12, **Schreibstellen:** 132/Zeile, **Druck-Leistung:** 300 LPM oder 5 LPS

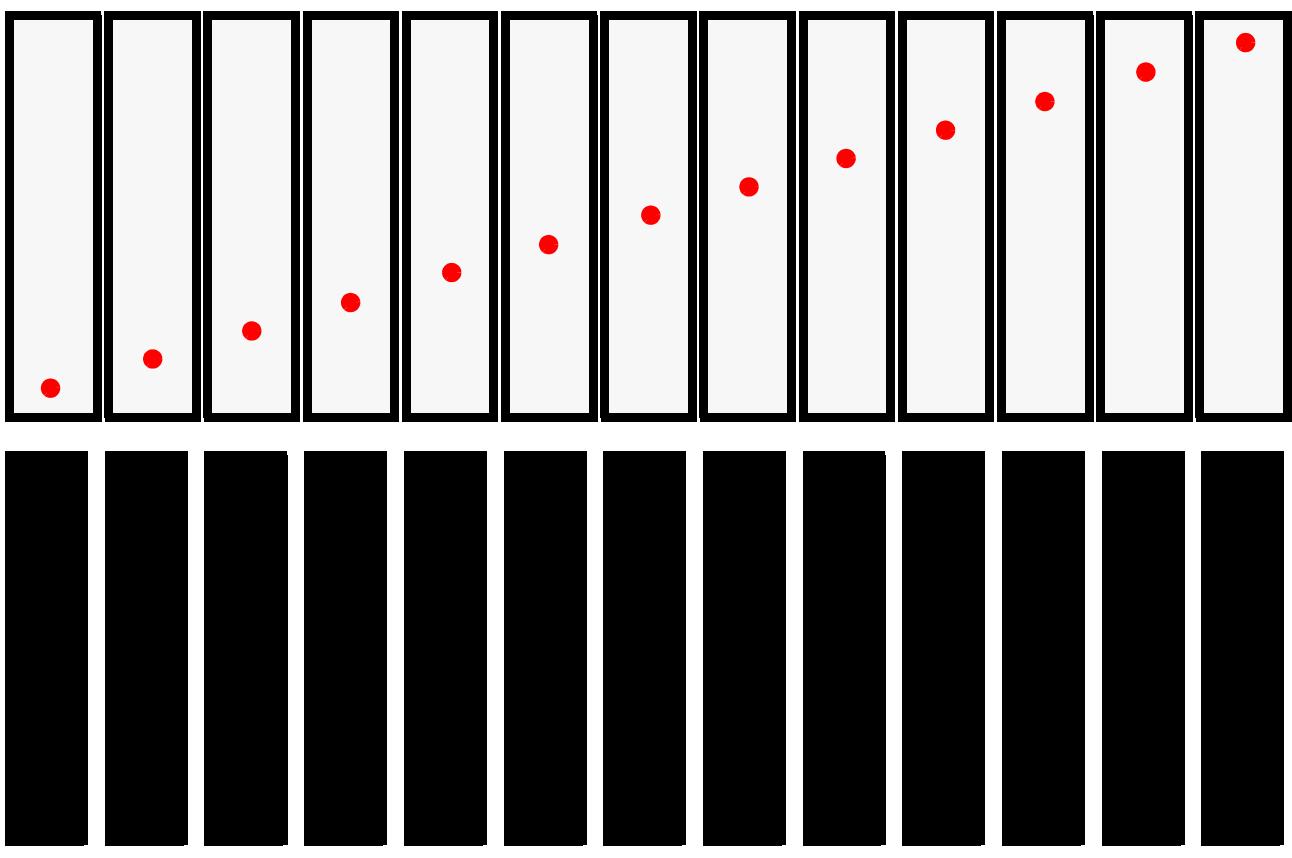
Analyse unter der Annahme, daß die Matrix zeilenweise 132-fach parallel mit Microspacing erzeugt wird (jeder Punkt der Kette ist also 132-fach vorhanden, also je Letter 1 Pixel zum Verschieben):

12\*5 Pixelreihen/sec sind zu drucken, jeder Buchstabe besteht wieder aus 8 Pixeln, somit sind je Hammer zu tätigen:

$$8*60 \text{ Schläge} = 480 \text{ Schläge/sec}$$

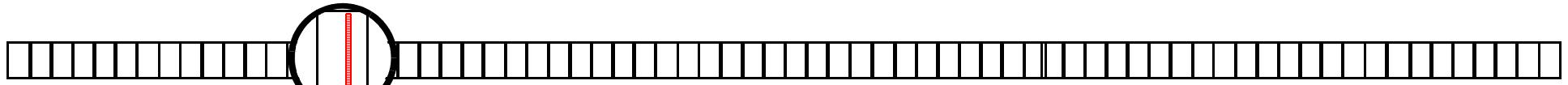
Dies ergibt eine effektive „Zuschlagzeit“ von unter 1 Millisekunde (der Hammer muß in den 2 ms, die insgesamt zur Verfügung stehen, auch wieder in seine Ausgangslage zurückkehren)

**Laufrichtung der Kette**

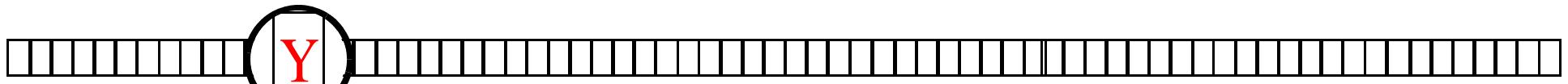


**Schlagstellen**

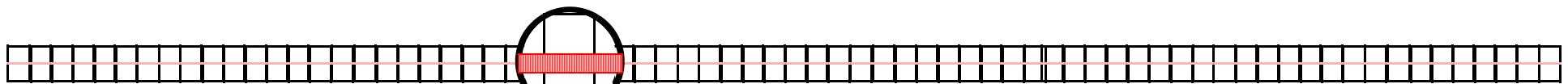
## 2.4.10 Druckprinzipien



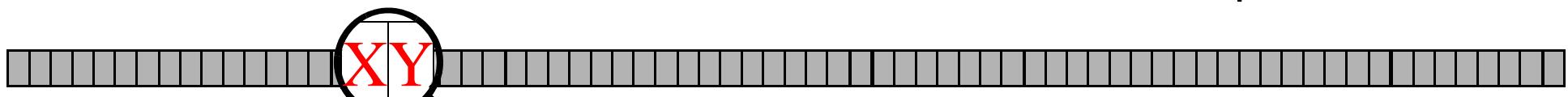
1. Matrixdrucker, Tintenstrahldrucker: Seriell, eine senkrechte  
Pixelspalte



2. Teletype, Kugelkopf, Typenrad: Sequentiell, eine Letter



3. Parallel-Matrixdrucker, Laserdrucker, Thermodrucker:  
Eine Pixelzeile parallel



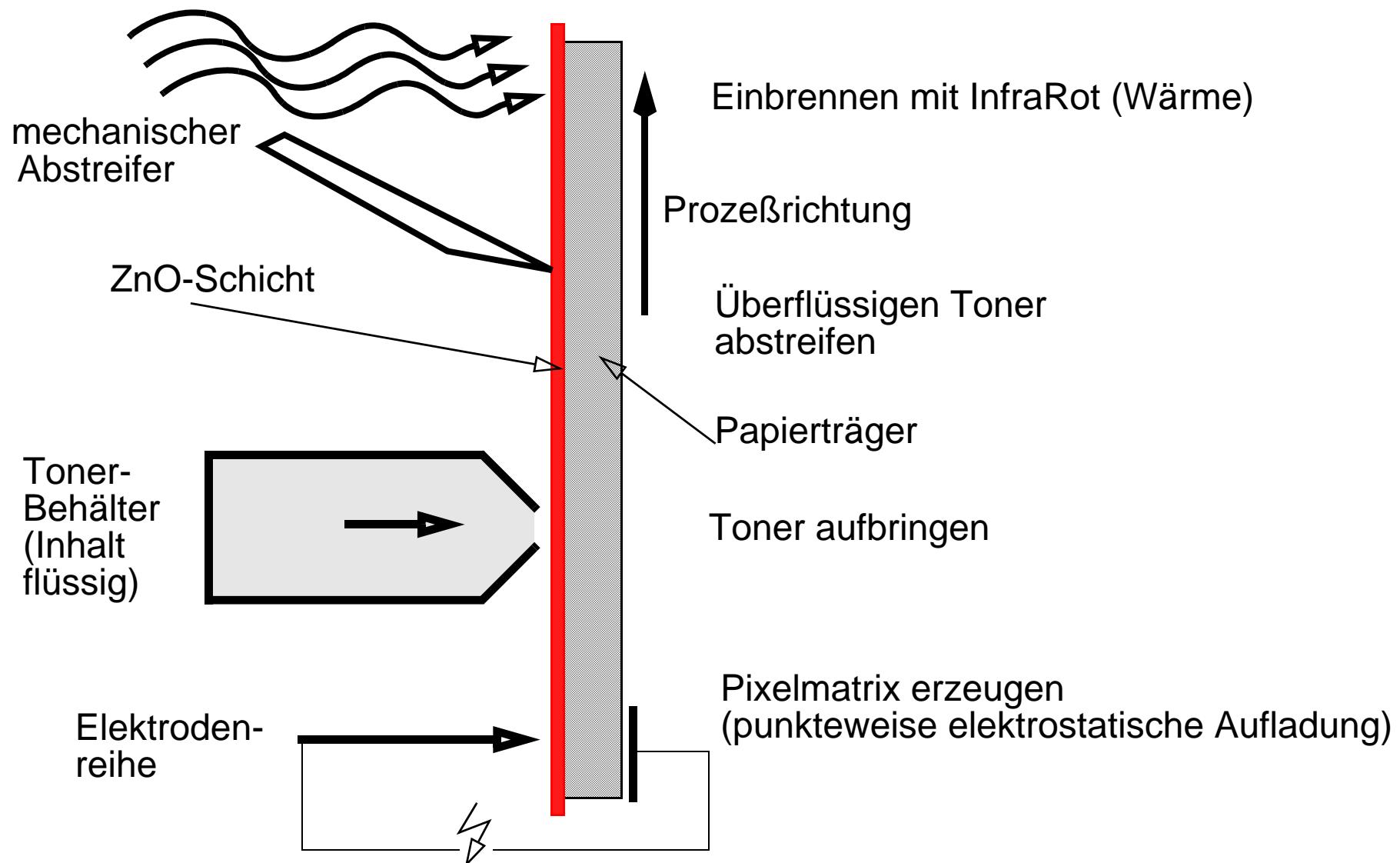
4. Zeilendrucker: Alle Lettern parallel in einem „Durchlauf“

## 2.4.11 Übersichtstabelle für Papierperipherie (Impact)

---

Geräte-art	Art des Drucks, Prinzip	Leistungs-daten	Normal-Papier	Druck-weg-Opti-mierung	Durch-schlag	Mehrfach-druck (Fett)	Farb-träger, Farbe?	Multifonts	Grafik Art/Auflsg.	Skalier-bare Fonts/Kerning
Zylinder	Seriell Letter	10 char/s	ja Rolle, Leparello	nein	ja, bis 7	ja	Farbband schw./rot	nein	nein	nein nein
Kugelkopf	Seriell Letter	15 char/s	ja, Rolle, Einzelblatt	nein	ja, bis 5	ja	Farbband schw./rot	ja, durch Wechseln	nein	nein nein
Daisy wheel	Seriell Letter	30-50 char/s	ja, Rolle Einzelblatt	ja	ja	ja	Farbband schw./rot	ja, durch Wechseln	nein	nein (ja)
Matrix-druk-ker	Seriell Pixel	30-300 char/s	ja, Rolle, Einzelblatt	ja	ja, bis 2	ja	Farbband schw./rot 4 Farben!	ja	ja, Raster 300 dpi	ja ja
Matrix-Rei-hen-drukker	Pixelzeile quer „Streifen“	600 Zeilen/min (LPM)	nein Leparello	nein	ja, bis 3	sequen-tiell	Farbb. ja Farbtuch nein	ja	ja, Raster 360 dpi	ja ja
Trommel-drucker	zeilen-weise, Letter	300-2000 Zeilen/min (LPM)	nein Leparello	nein	ja, bis 10	sequen-tiell 2 Umdreh.	Farbtuch nein	nein	nein	nein nein
Ketten-druk-ker	zeilen-weise, Letter	300-2000 Zeilen/min (LPM)	nein Leparello	nein	ja, bis 4	sequen-tiell 2 Durchl.	Farbband nein	nein	nein	nein nein
Punkt-kette	Punktzeile quer „Streifen“	600 Zeilen/min (LPM)	nein Leparello	nein	ja, bis 5	sequen-tiell 2 Durchl.	Farbband nein	ja	ja, Raster ca. 30 dpi	ja ja

## 2.4.12 Elektrostatischer Matrixdrucker



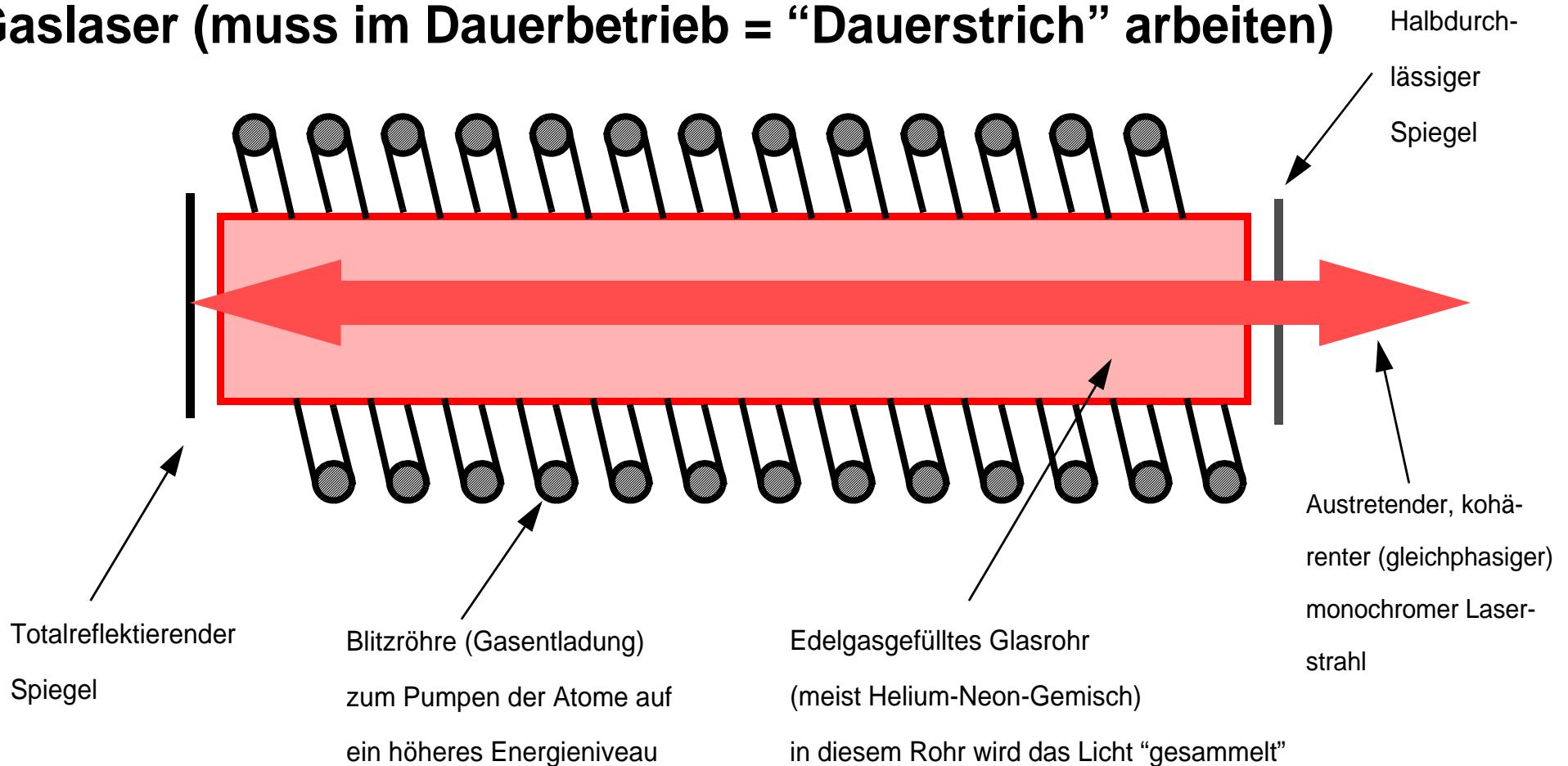
# Definition: Fotoleiter

**Material, das im Dunkeln ideal isolierend wirkt (elektrostatisch aufladbar mit etwa 500 KV/m)**

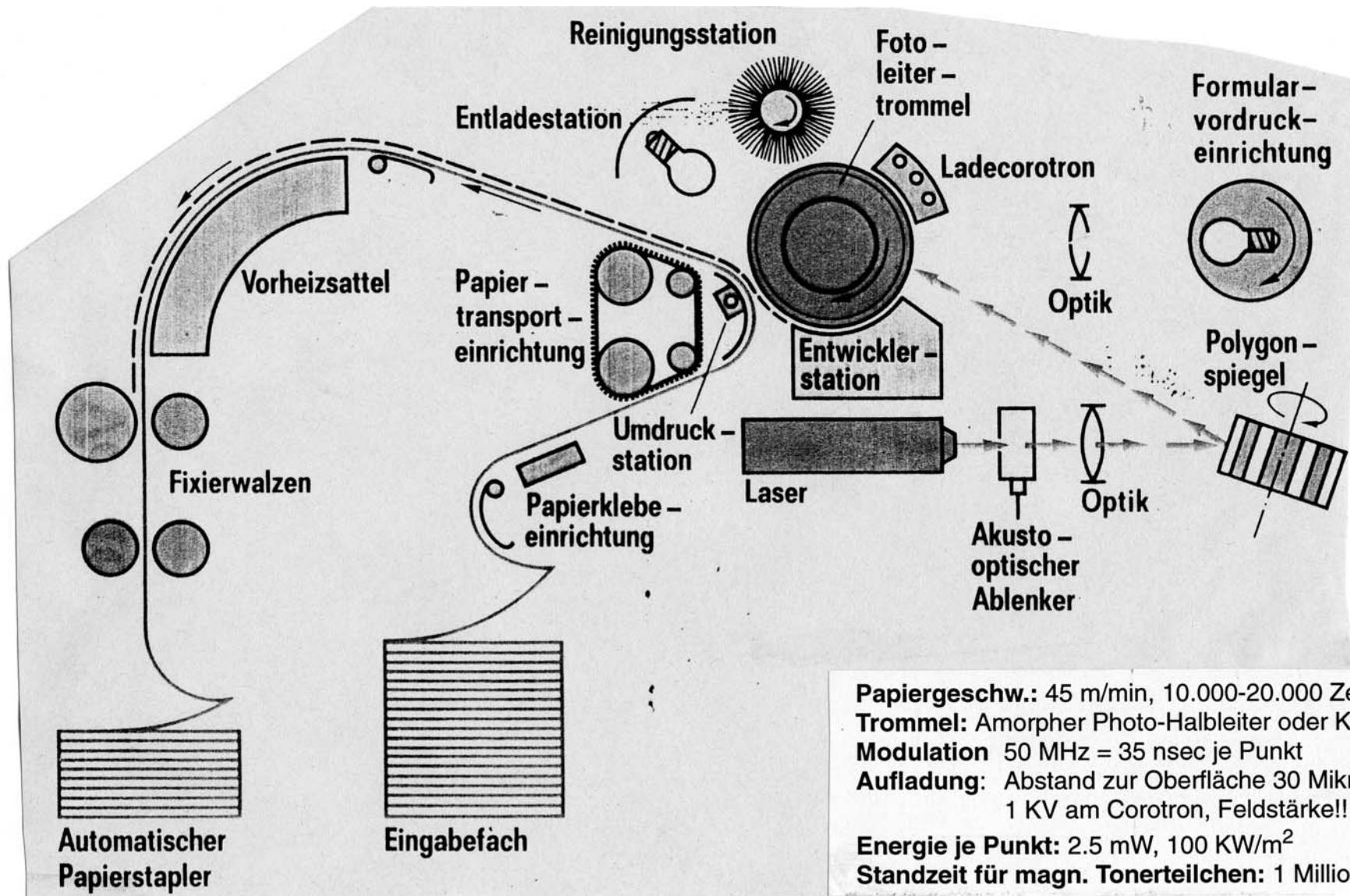
**Material, das unter Lichteinfluß leitend wird. Die Oberflächenladung kann bei geeigneter Konstruktion abfließen**

## 2.5.2 Laser: Physikalischer Aufbau

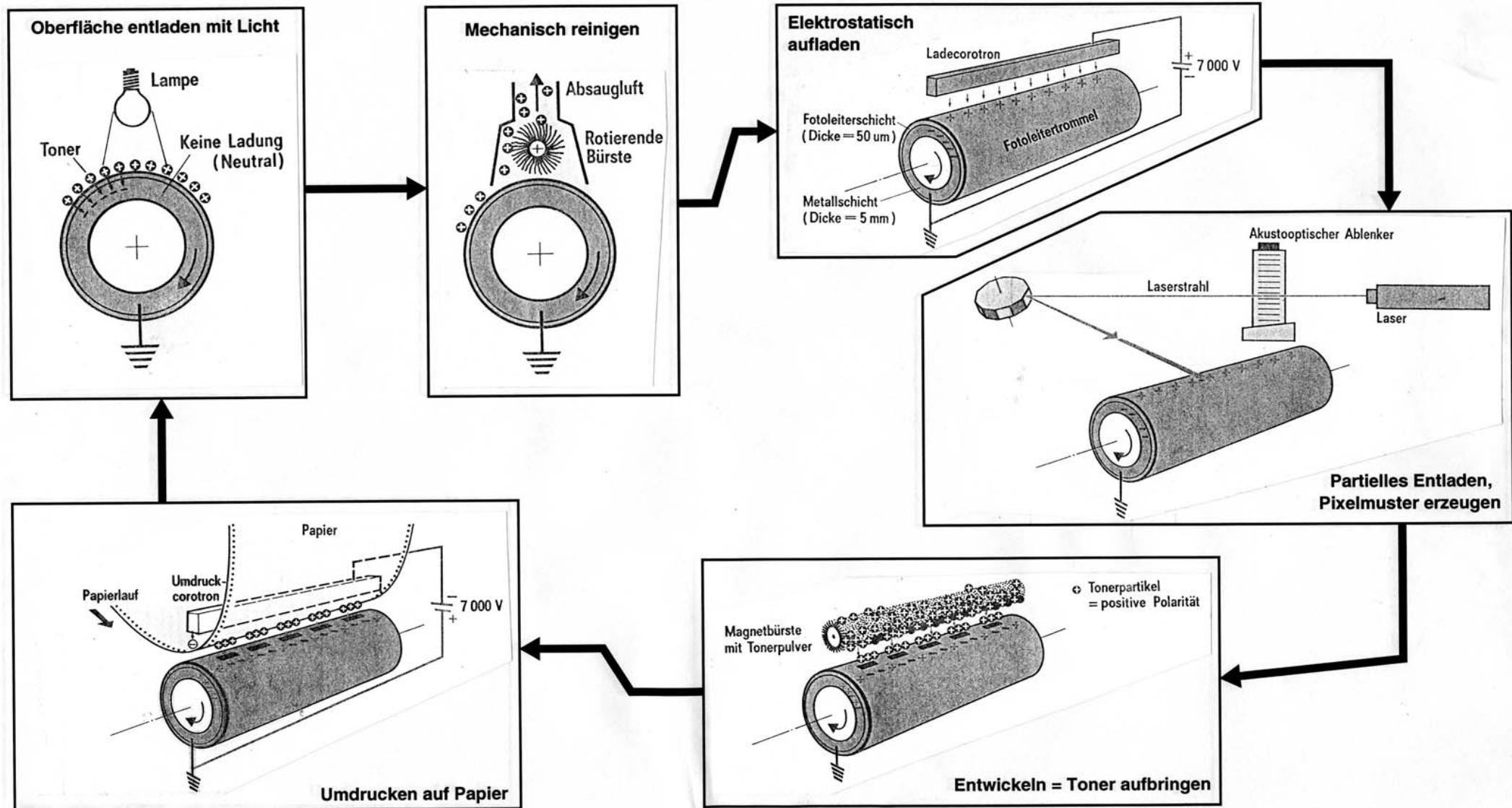
### Gaslaser (muss im Dauerbetrieb = “Dauerstrich” arbeiten)



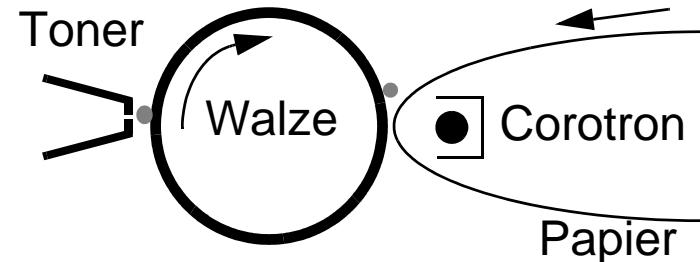
## 2.5.3 Laserdrucker



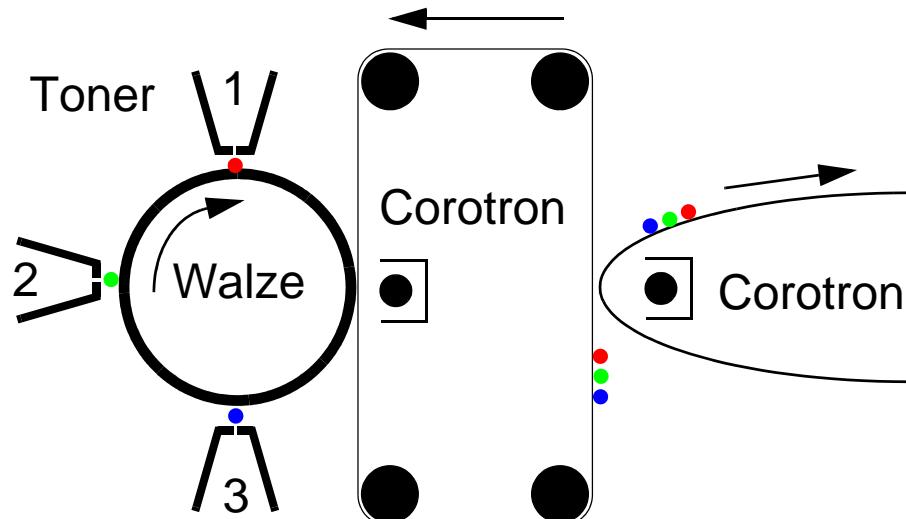
## 2.5.4 Laserdrucker (Kompletter Kreislauf)



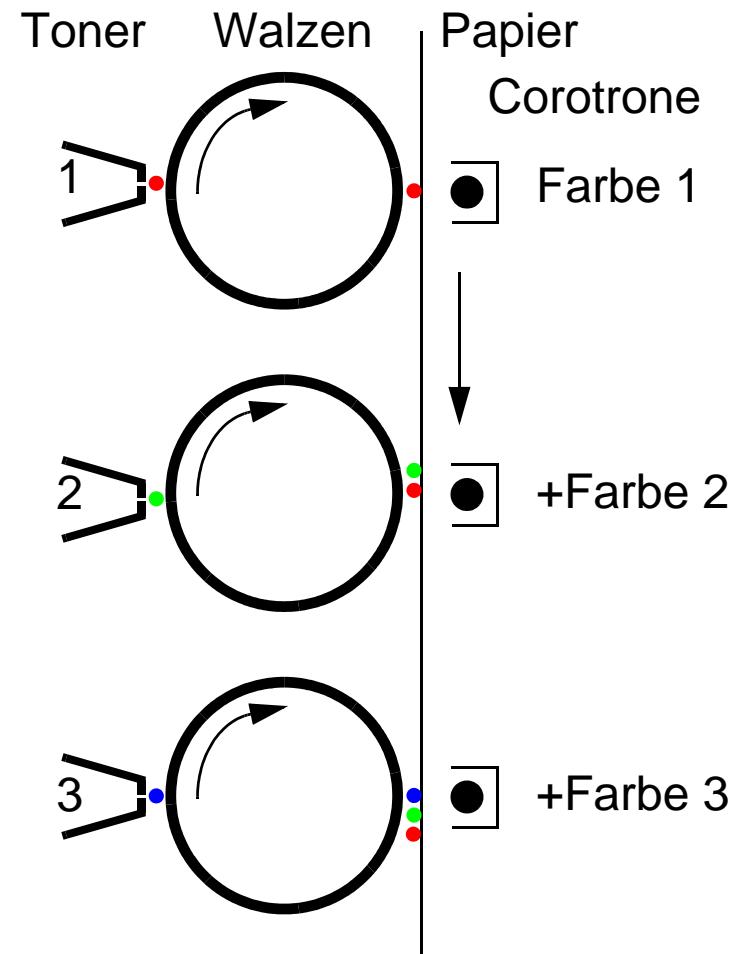
## 2.5.5 Laserdrucker (Umdruckvarianten)



**Umdruck einfarbig**

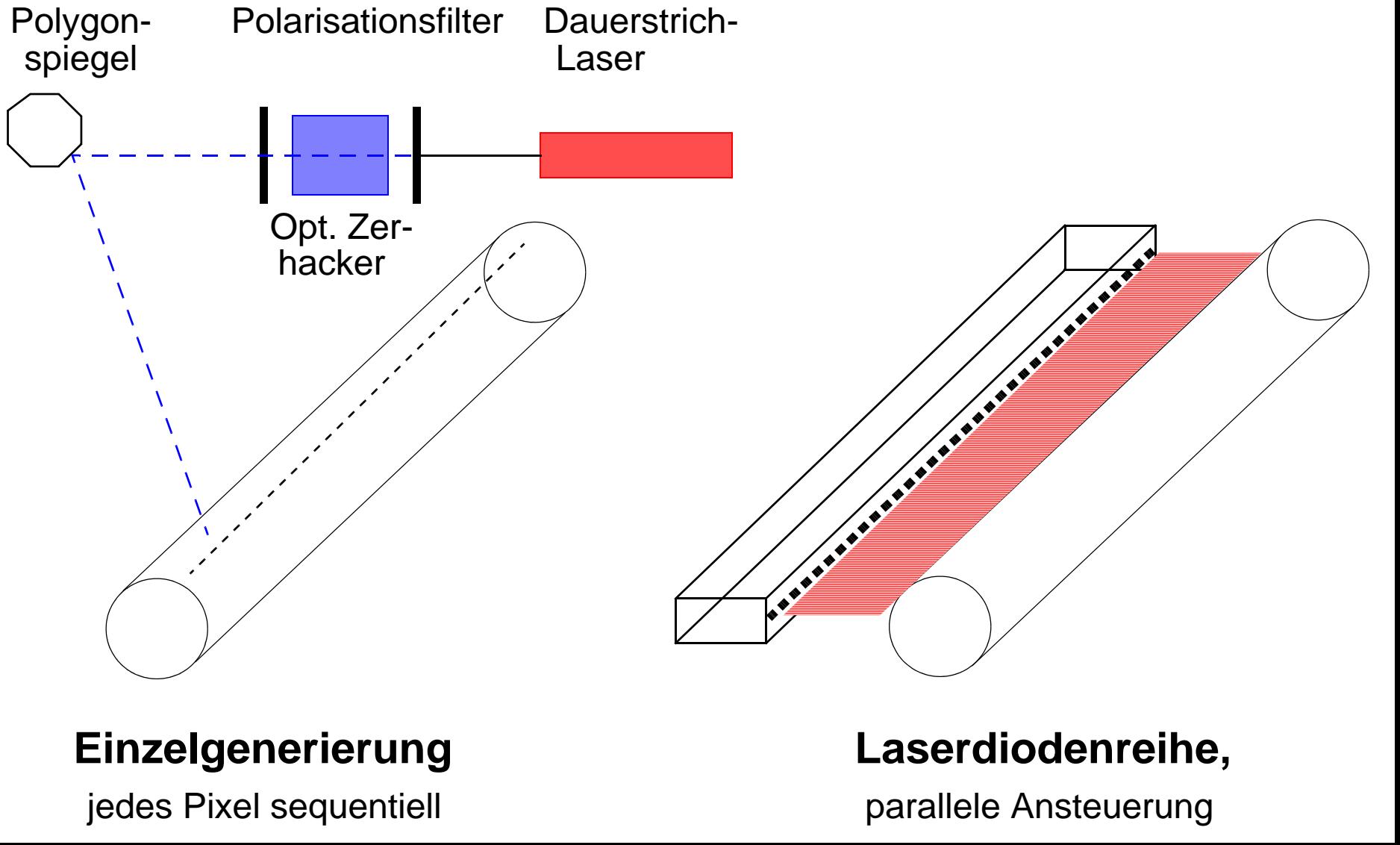


**Umdruck drei- (vier-) farbig  
(mit Endlosband)**

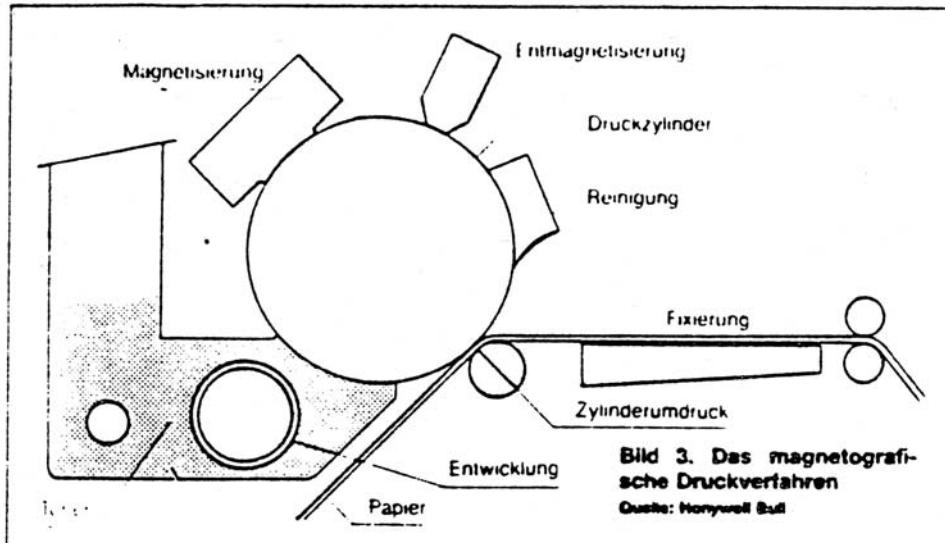


**Umdruck drei- (vier-) farbig  
(separate Fotoleiterwalzen)**

## 2.5.6 Laserdrucker (Belichtungsvarianten)



## 2.6 Magnetografie

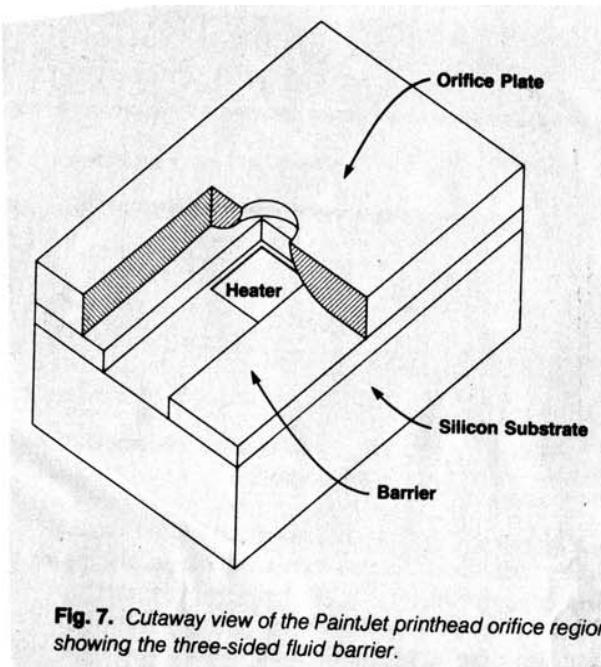


### Magnetografische Drucker

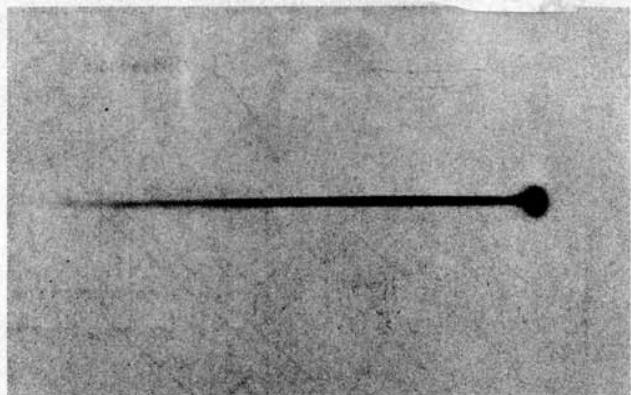
Magnetografische Drucker arbeiten auch mit einer Trommel, doch ist deren Umfang mit magnetisierbarem Material beschichtet. Diese Beschichtung wird, entsprechend dem Hell-Dunkel-Muster des zu erstellenden Ausdrucks, über winzig kleine Magnetköpfe magnetisiert, worauf diese magnetisierten Zonen in der nächsten Phase des Druckzyklus' dann den Toner, also die das Papier am Ende färbende Substanz, festhalten. Der Toner wird anschließend auf ganz gewöhnliches Papier übertragen und dort fixiert, während die sich weiterdrehende Trommel jederzeit ummagnetisiert werden und ein neues Druckbild aufnehmen kann (siehe Bild 3).

Magnetografische Drucker kommen ohne aufwendige Laser- oder andere Lichtquellen und ohne komplizierte Linsen- und Spiegeloptiken aus. Und die aktive Schicht auf der Trommel bleibt, sofern keine bewußte Ummagnetisierung erfolgt, dauerhaft magnetisch und damit druckbereit.

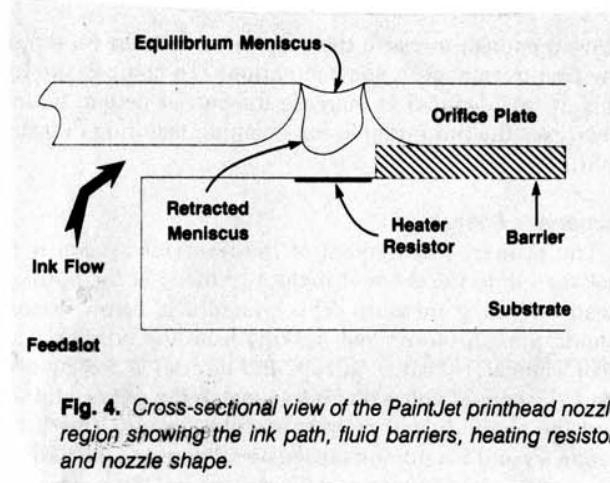
**Elektronik** 5/4.3.1988



**Fig. 7.** Cutaway view of the PaintJet printhead orifice region, showing the three-sided fluid barrier.



**Fig. 5.** Photograph of drop ejection. The length of the tail depends on the ejection velocity.



**Fig. 4.** Cross-sectional view of the PaintJet printhead nozzle region showing the ink path, fluid barriers, heating resistor, and nozzle shape.

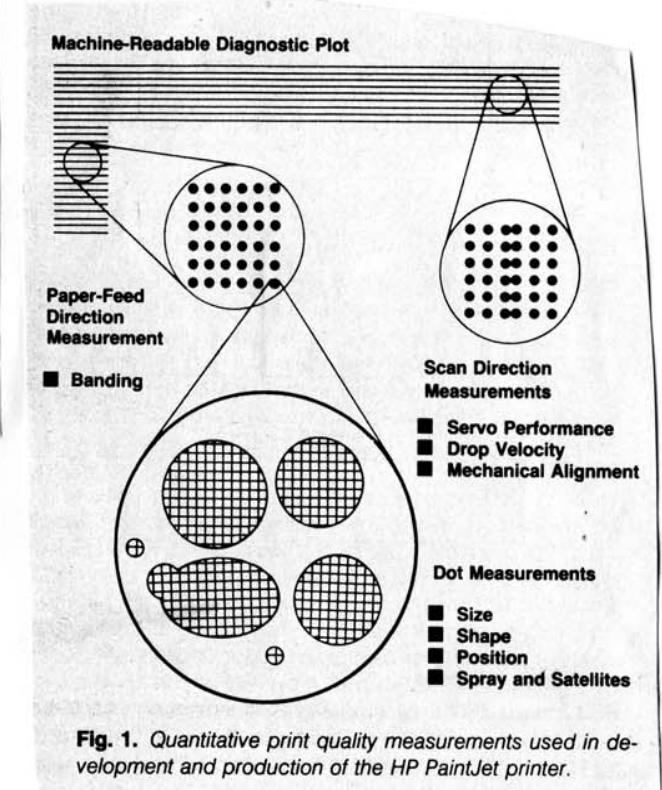
Zeitabschätzung bei 300 dpi

(20 Düsen parallel quer)

im Grafikmodus (4 Seiten/min):

8.000-10.000 Schüsse/sec je Düse

also >50 Mikrosec je Schuß



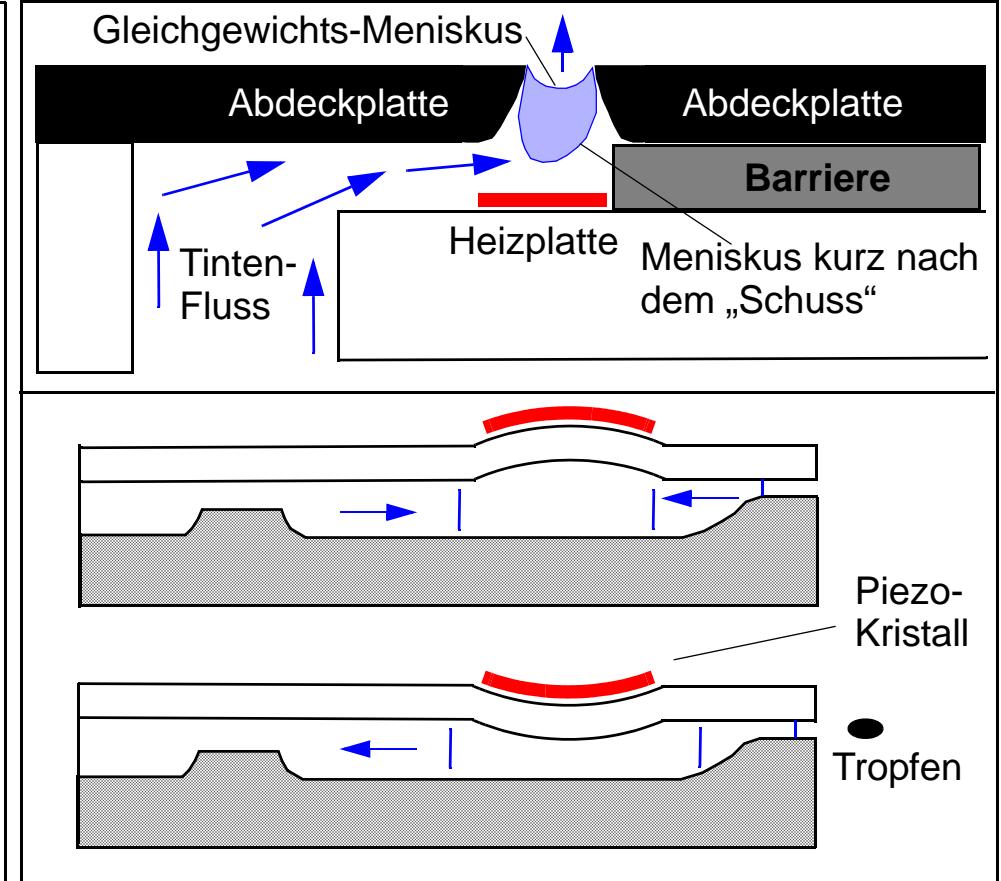
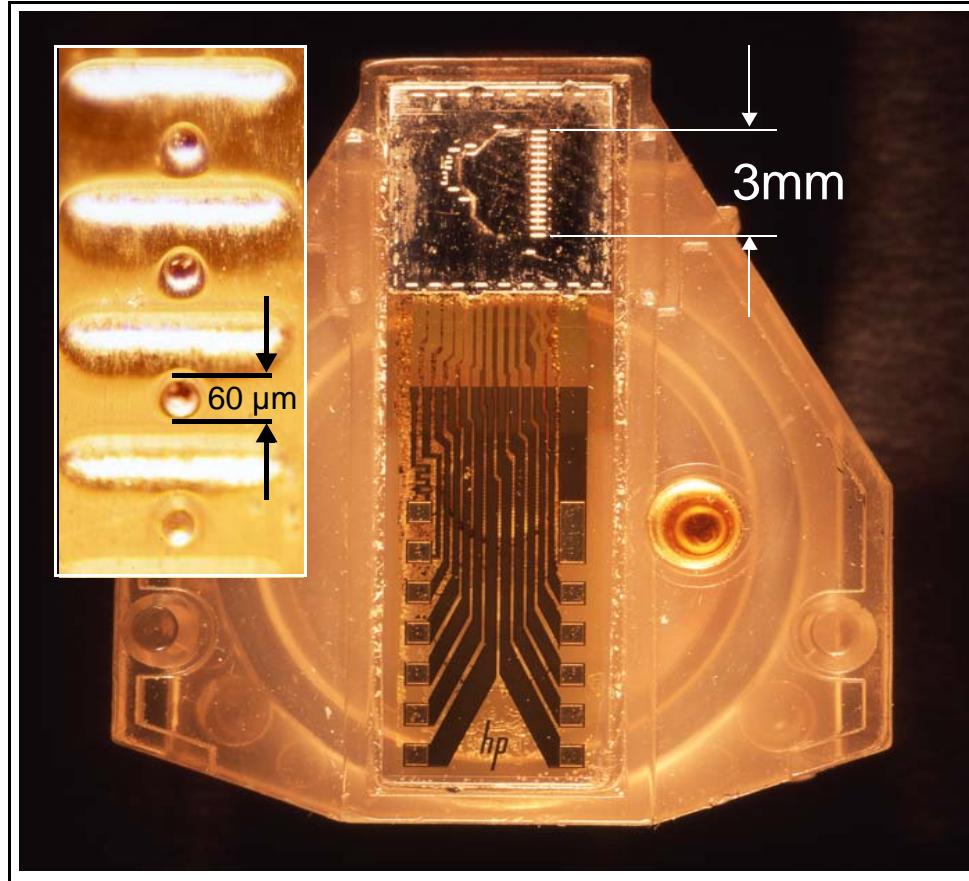
**Fig. 1.** Quantitative print quality measurements used in development and production of the HP PaintJet printer.

## 2.7.2 Tintenstrahldrucker

Für den Einsatz in Büroumgebungen eignen sich besonders die **fast geräuschlosen** Tintenstrahldrucker als Arbeitsplatzdrucker. Ein qualitativ hochwertiges Schriftbild (300 x 300 Punkten pro Zoll) beim Ausdruck von Text und Grafik prädestinieren diesen Druckertyp als typischen Bürodrucker. Die Bildqualität erscheint durch die höhere Farbsättigung deutlich besser als bei Matrixdruckern mit gleicher Auflösung.

Bei **Farbtintenstrahldruckern** (z.B. PaintJet XL300) werden eine schwarze und eine farbige Druckkopfpatrone verwendet, um den Tintenverbrauch, der entstünde, würde man die Farbe Schwarz mischen, zu reduzieren. Mischfarben werden durch Neben- bzw. Übereinanderdrucken verschiedener Farben erreicht. Die Qualität des Farbdruckes ist deutlich besser als bei Farbmatrixtdruckern. Dies wird vor allem durch eine dünnflüssige, gut mischbare Tinte erreicht. Die meisten Papierarten können verwendet werden. Vor Verwendung empfiehlt es sich jedoch, das Papier zu testen. Besonders die Holzanteile eines Papiers können sich nachteilig auf die Druckqualität auswirken.

## 2.7.3 Tintenstrahldrucker (Kopfkonstruktionen)



## 2.7.4 Thermotransferdrucker

Beim Thermotransfer-Prinzip wird die Farbe nicht von einem Farbband auf das Papier übertragen, sondern zeilenartig angeordnete Halbleiterelemente schmelzen die Farbe von einer mit Wachsfarbstoff beschichteten Polyesterfolie punktförmig auf ein Spezialpapier.

Wie beim Vierfarbdruck werden die drei Grundfarben und schwarz nacheinander auf Papier oder eine Folie übertragen. Zuerst **yellow**, dann **cyan**, **magenta** und zuletzt **schwarz**. Die Farbdarstellung bleibt konstant und ist nicht vom Abnutzungsgrad eines Farbbandes abhängig.

Eingesetzt werden können dreifarbige (yellow, cyan, magenta), vierfarbige (yellow, cyan, magenta, schwarz) und nur schwarze Wachsfilme. Die Verwendung von vierfarbigen Wachsfilmen ergibt einen satteren Farbeindruck, da wie schon bei den Tintenstrahldruckern schwarz nicht gemischt werden muss.

Farbnuancen werden beim Thermotransferdrucker durch Nebeneinandersetzen von verschiedenfarbigen Farbpunkten erreicht. Wird beispielsweise Orange gedruckt, wird jeder Farbpunkt in yellow und zusätzlich jeder zweite Farbpunkt in magenta gedruckt. Dieses Verfahren nennt man **Dithering**. Drucker mit einer Auflösung von 300 x 300 Punkten pro Zoll erzeugen mit dieser Methode verhältnismässig grob wirkende Farbraster, da sie Halbtöne nur simulieren - ähnlich wie Laserdrucker, auf denen man graue Flächen druckt. Vorteil von Thermotransferdruckern ist die gute Farbsättigung und die mit Laserdruckern vergleichbare Qualität bei relativ geringen Kosten der Druckmechanik. Nachteil ist der sehr hohe Preis für die Verbrauchsmaterialien und damit die hohen Seitenkosten. Eingesetzt wird diese Technik beispielsweise bei Hardcopy-Ausgabegeräten für Farbterminals oder bei PostScript- Farbdruckern.

## 2.7.5 Phase-Change-Drucker

Die von Tektronix für den PhaserIII entwickelte Phase-Change-Technologie arbeitet mit festen, formkodierten Farbstiften. Heizelemente sorgen dafür, dass von den Farbstiften eine kleine Menge Tinte in einen Vorratsbehälter abgeschmolzen wird. In einer weiteren Stufe wird aus diesem Vorratsbehälter Tinte entnommen, nochmals weiter erhitzt und dann wie bei einem Tintenstrahldrucker über feine Düsen aufs Papier gebracht. Beim Auftreffen der Tinte aufs Papier oder Folie erstarrt diese sofort und wird mittels zweier Walzen (Kalt-Press-Verfahren) fixiert.

Wesentliche Vorteile dieser Technologie sind: die Farbgenauigkeit, die Farbqualität, die Verwendung von Normalpapier und die effiziente Ausnutzung der Verbrauchsmaterialien (Farbstifte) da nur Farbstifte verbraucht werden, wenn Tinte aufs Papier gedruckt wird.

Wie bei den Farbthermotransferdruckern werden die Farben aus den Grundfarben yellow, cyan, magenta und schwarz zusammengesetzt. Als Druckersprache wird PostScript Level 2 unterstützt.

## 2.7.6 Thermosublimationsdrucker

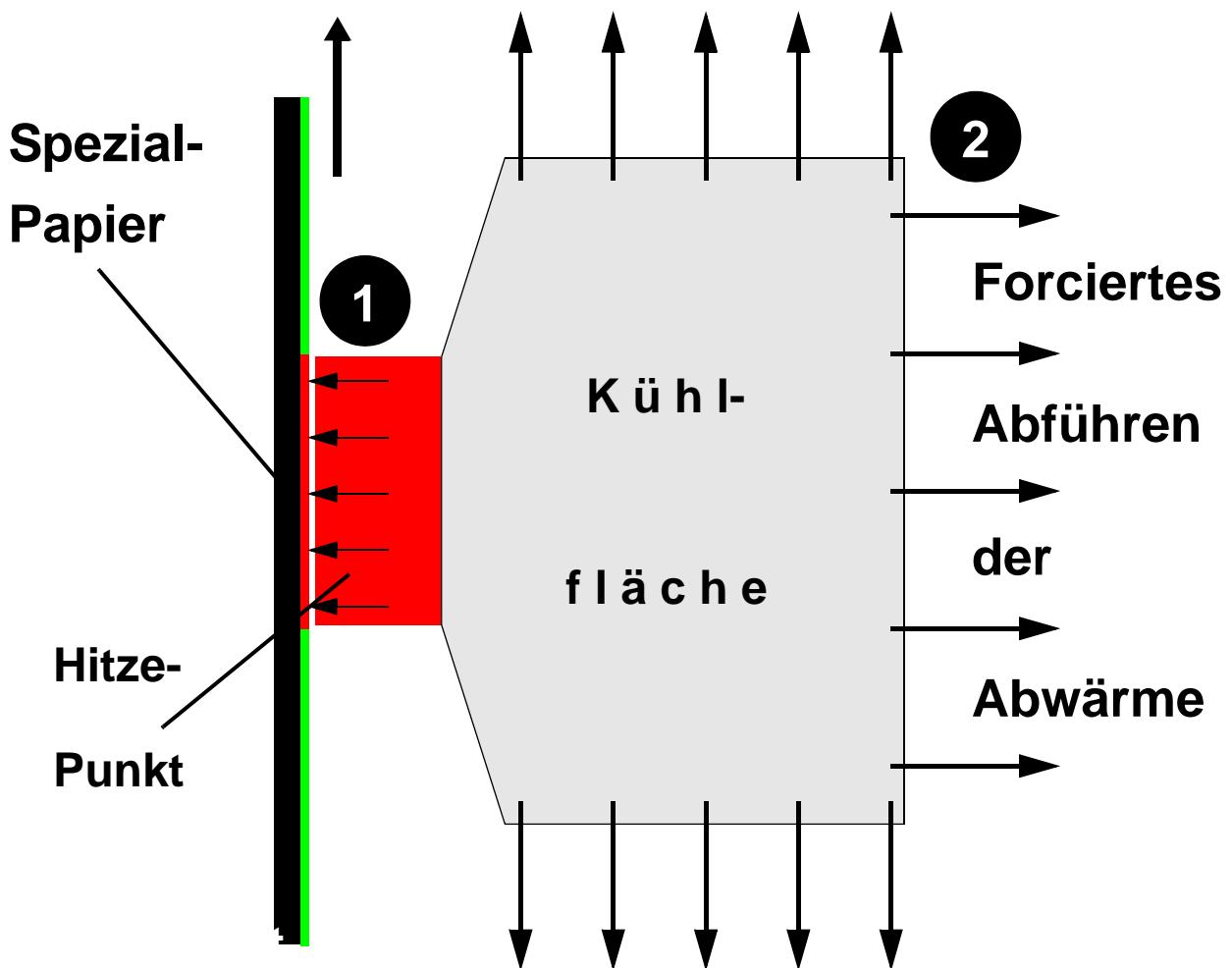
Mit Sublimationsdruckern lassen sich fotorealistische Ausdrucke erzeugen. ähnlich dem Thermotransferverfahren arbeitet auch das Sublimationsverfahren mit einer Trägerfolie, von der die Farbe mit Heizelementen abgeschmolzen wird. Das Wachs wird so stark erhitzt, bis es gasförmig über Düsen in Spezialpapier hineindiffundieren kann. Deshalb wird die Sublimation auch als Farbdiffusion oder D2T2 bezeichnet.

Die Dosierung jeder einzelnen Farbe kann dabei in 255 Stufen erfolgen. Sublimationsdrucker erreichen eine echte Farbauflösung von 300 x 300 Punkten pro Zoll, da Halbtöne nicht aus einer Zelle mit einzelnen Punkten erzeugt werden müssen, sondern durch Verschmelzen der Farben im Papier erreicht werden. Das Ergebnis dieser Drucktechnik sind brillante Bilder mit sehr weichen Farbübergängen, die einem Farbfoto gleichkommen. Die Druckkosten sind mit knapp 6 DM pro Seite (DIN A4, Dreifarb-Rolle) noch recht hoch. Bedenkt man jedoch, dass ein Ausdruck der Qualität eines Fotos entspricht und welche zusätzlichen Möglichkeiten der individuellen Bildgestaltung zur Verfügung stehen, relativiert sich dieser Preis.

## 2.7.7 Thermodrucker



Anordnung der Hitzepunkte in der Matrix



**Schritt 1: Lokalen Hitzepunkt auf Spezialpapier erzeugen**

**Schritt 2: Abwärme sehr schnell vom Erzeuger abführen**

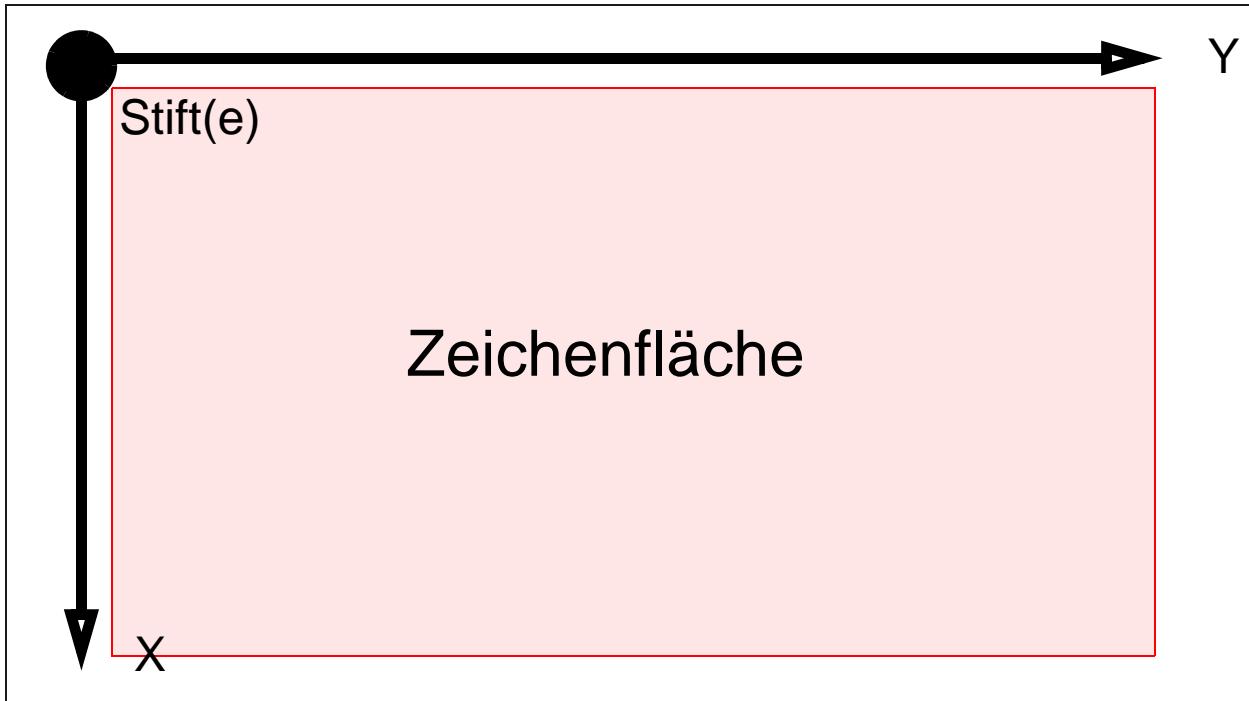
## 2.7.8 Tabelle Nonimpact-Drucker

---

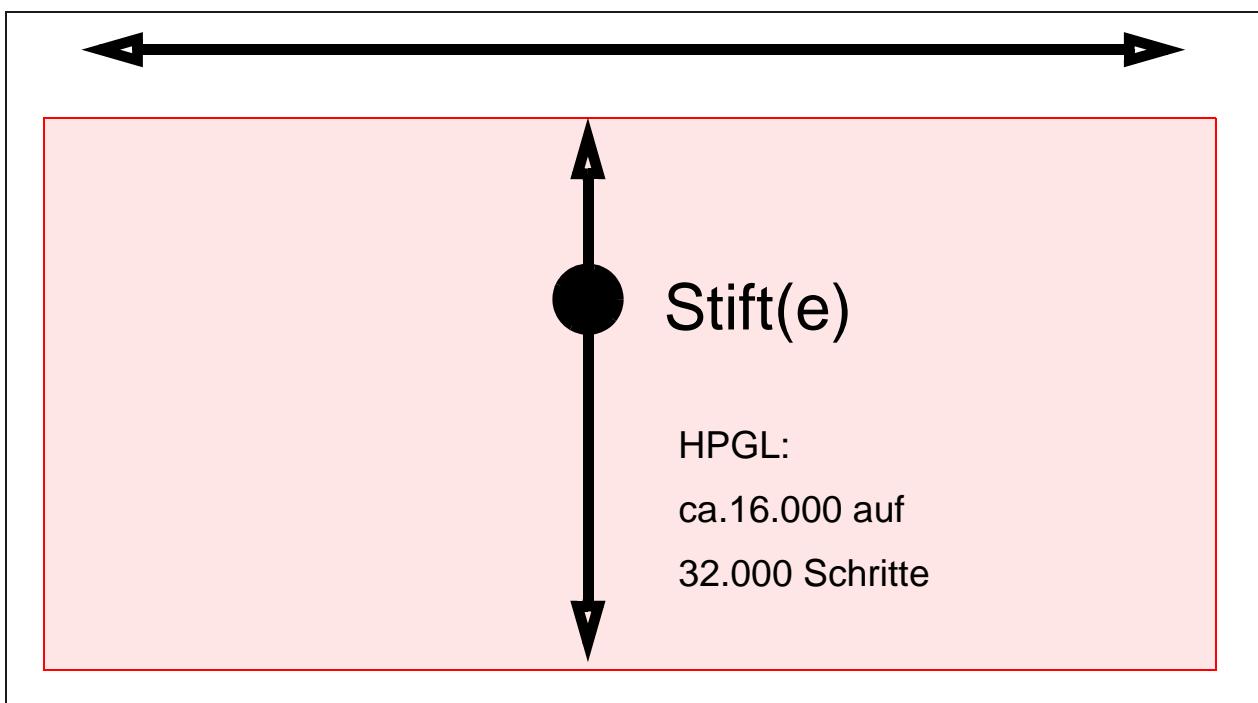
Geräte-art	Art des Drucks	Leistungs-daten	Normal-Papier	Druck-weg-Opti-mierung	Durch-schlag	Mehrfach-druck (Fett)	Farbträ-ger, Farbe?	Multifonts	Grafik Art/Auflösg.	Skalierbare Fonts/Kerning
Thermo-Matrixdrucker	Seriell Pixel	100-300 LPM	Nein	Ja	Nein	Ja	Hitzesensit. Pap. Nein	Ja	Ja „therm.“ Pixel 100 dpi	Ja Ja
Elektro-sensitiv	Seriell Hochgenau,	150... 2200 Char/s	Nein	Ja	Nein	Ja	Metallfilm abdampf. Nein	Ja	Ja, kontinuierlich >6000dpi	Ja Ja
Elektro-statisch	Parallel Ladungs-Pixel-Bild,	300... 18.000 LPM	Nein	Ja	Nein	Ja	Toner naß Nein	Ja	Ja, 100... 200 dpi	Ja Ja
Xero-grafisch	Parallel Indirekt	1.000... 20.000 LPM	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja, Toner 3 Trommeln	Ja	Ja, Pixelbild 600 dpi	Ja Ja
Kontinuier-licher Tintenstr.	Seriell El.stat. Ablenkung	>1000 LPM	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja, kontinuier. nur s/w	Ja Ja
Tinten-strahl-drucker	Seriell Kurzzeit-Schüsse,	30 Char/s bis 45.000 LPM	Ja, Vorsicht bei Farbe	Ja	Nein	Ja	Ja Vielfach-Düsen	Ja	Ja, Pixel schlecht reproduz.	Ja Ja
Thermo-sublimation	Wie Tinten-strahldrucker	>10 Seiten/min	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja, Mischung Gasphase	Ja	Ja, Fotorealistisch	Ja Ja
Magneto-Prinzip	Toner wird „magnetisiert“	>1000 LPM	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja, Pixel 200 dpi	Ja Ja

## 2.8 Plotter

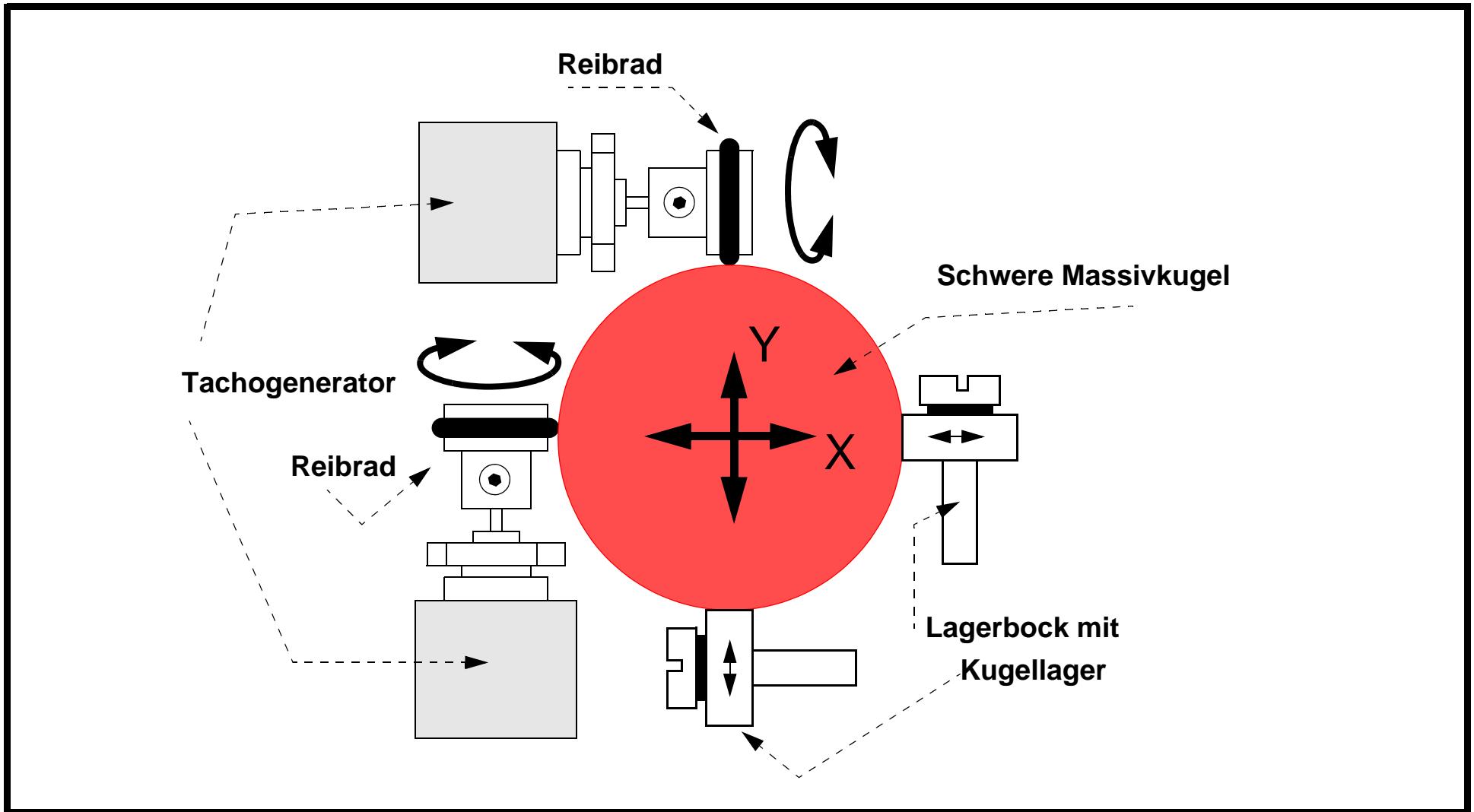
1. Papier fest (Flachbett-Plotter) bis DIN A3



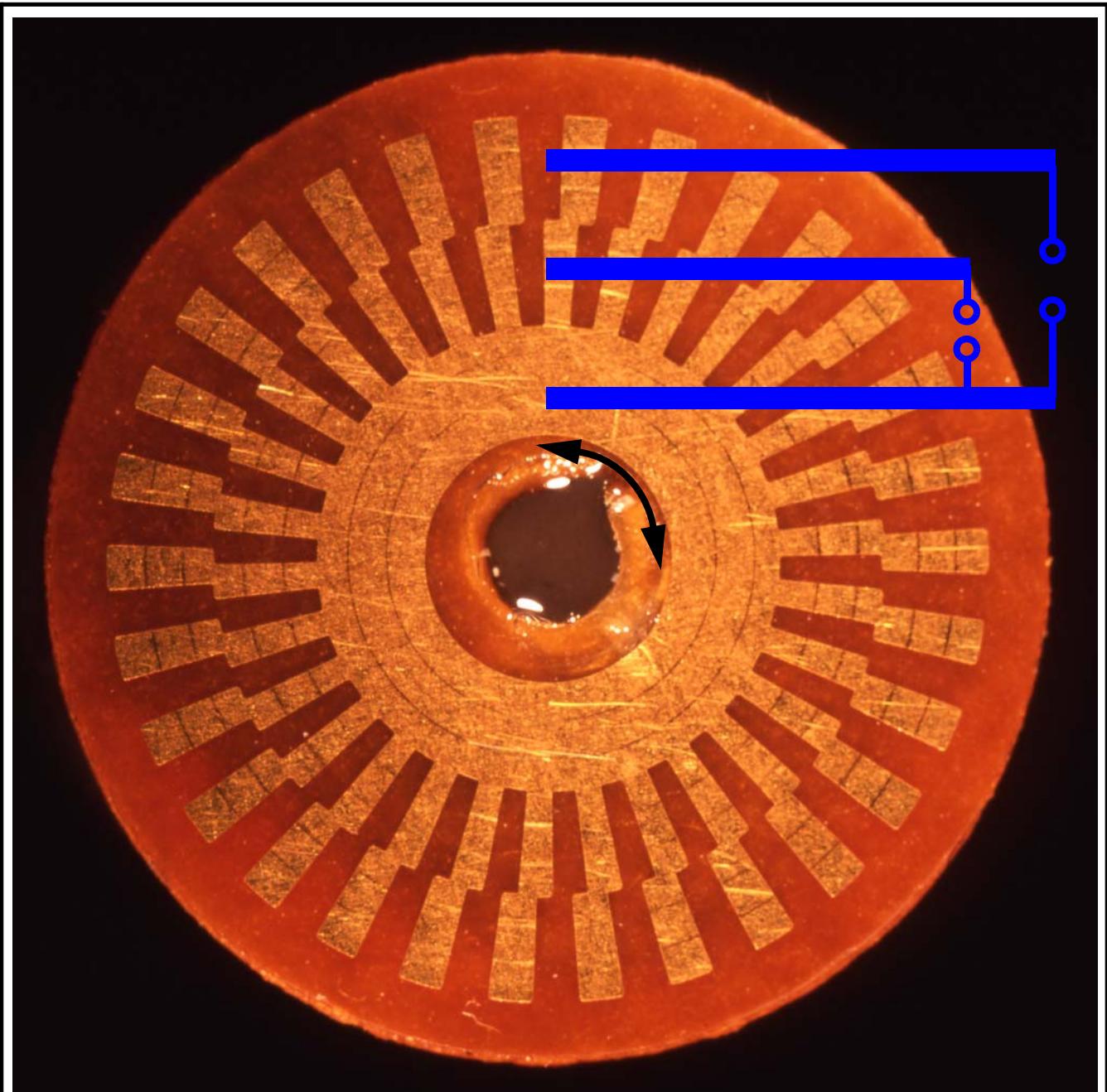
2. Papier wird bewegt, bis DIN A0



### 3.1.1 Mäuse: Innenansicht einer 'historischen' Maus ca. 1975

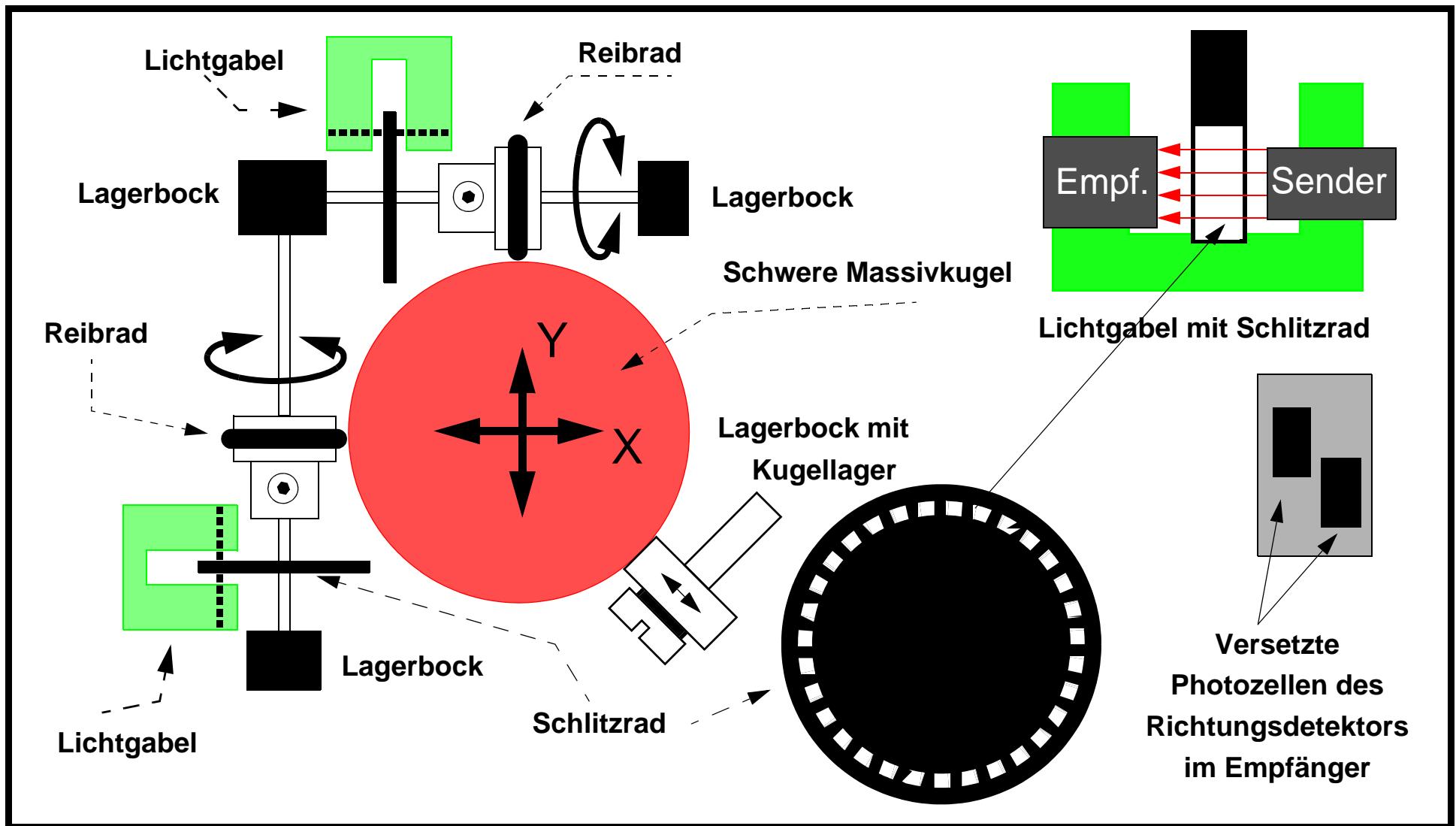


### 3.1.2 Codierscheibe



Eingezeichnet sind die drei Kontaktzungen, die auf den versetzten Kontakzonen für die Erkennung der Drehrichtung bei dieser Mausvariante sorgen. Kontakt gegen Mitte.

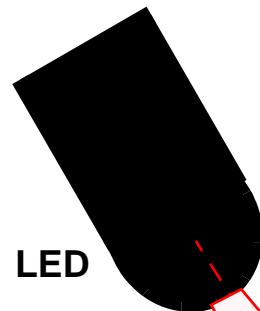
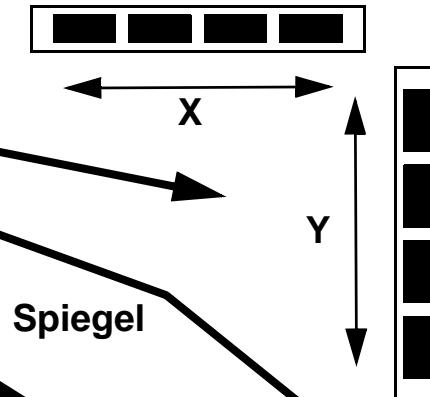
### 3.1.3 Mäuse: “Optische” Maus mit Schlitzrädern



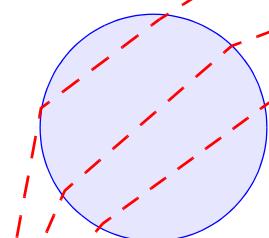
### 3.1.4 Mäuse: Optische Maus

Spezialplatte statt Mouse-Pad, (z.B. SUN)

Zwei rein "optische Richtungs-Detektoren"  
(je ein Stück für x- und y-Richtung)



"Schusterkugel"



LED

Lichtweg

Detektoren

Gehäuse

Rasterplatte

## 3.2 Scanner

Scanner dienen dem Einlesen von Vorlagen und ihrer Aufbereitung in Dateien. Die Vorlagen werden im weiteren Sinne als farbige Pixelmuster wiedergegeben.

OCR ist als Schriftbild lesbar und wird nach ASCII konvertiert  
Farbauszüge meist als RBG oder auch als YMC, zusätzlich  
Grauwerte, mehr als jeweils 8 Bit sind vom Auge nicht mehr  
unterscheidbar

PDF-Umwandlung der Dateien (Portables Datei Format =  
Glaubenssache, aber meist klappt es ja)

Weiterbearbeiten der gescannten Daten wie skalieren, drehen,  
kommentieren, Farbstiche entfernen, Filter anwenden (grob,  
fein, Raster, usw.)

Schwierig: Einlesen von bereits gerasterten Bildern, dies ergibt  
Moiré-Muster

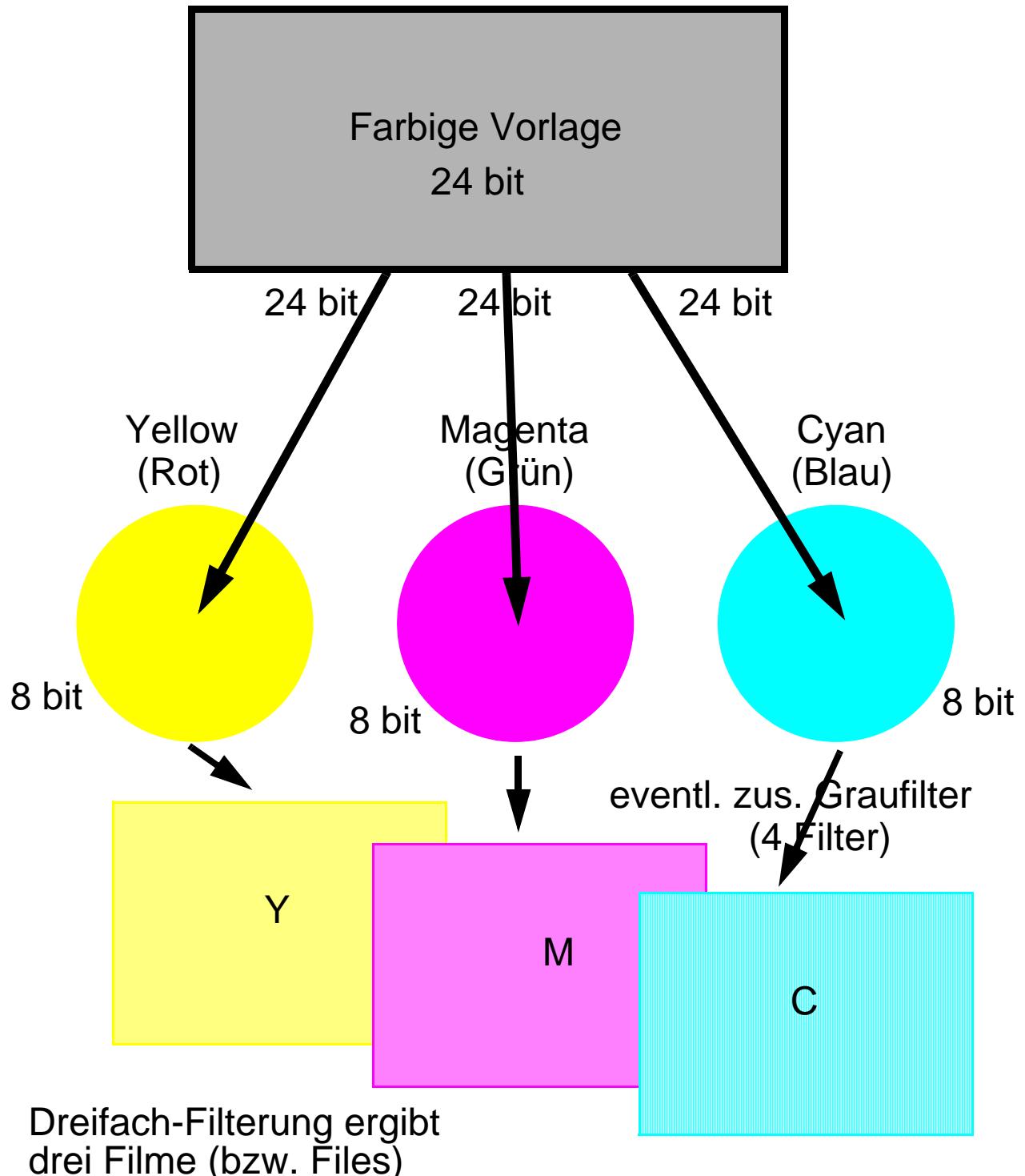
Meistens DIN A4-Vorlagen, aber auch bis A3

Durchlicht-Einheiten für Filme (24x36 mm, 6x6 cm, 9x12 cm)

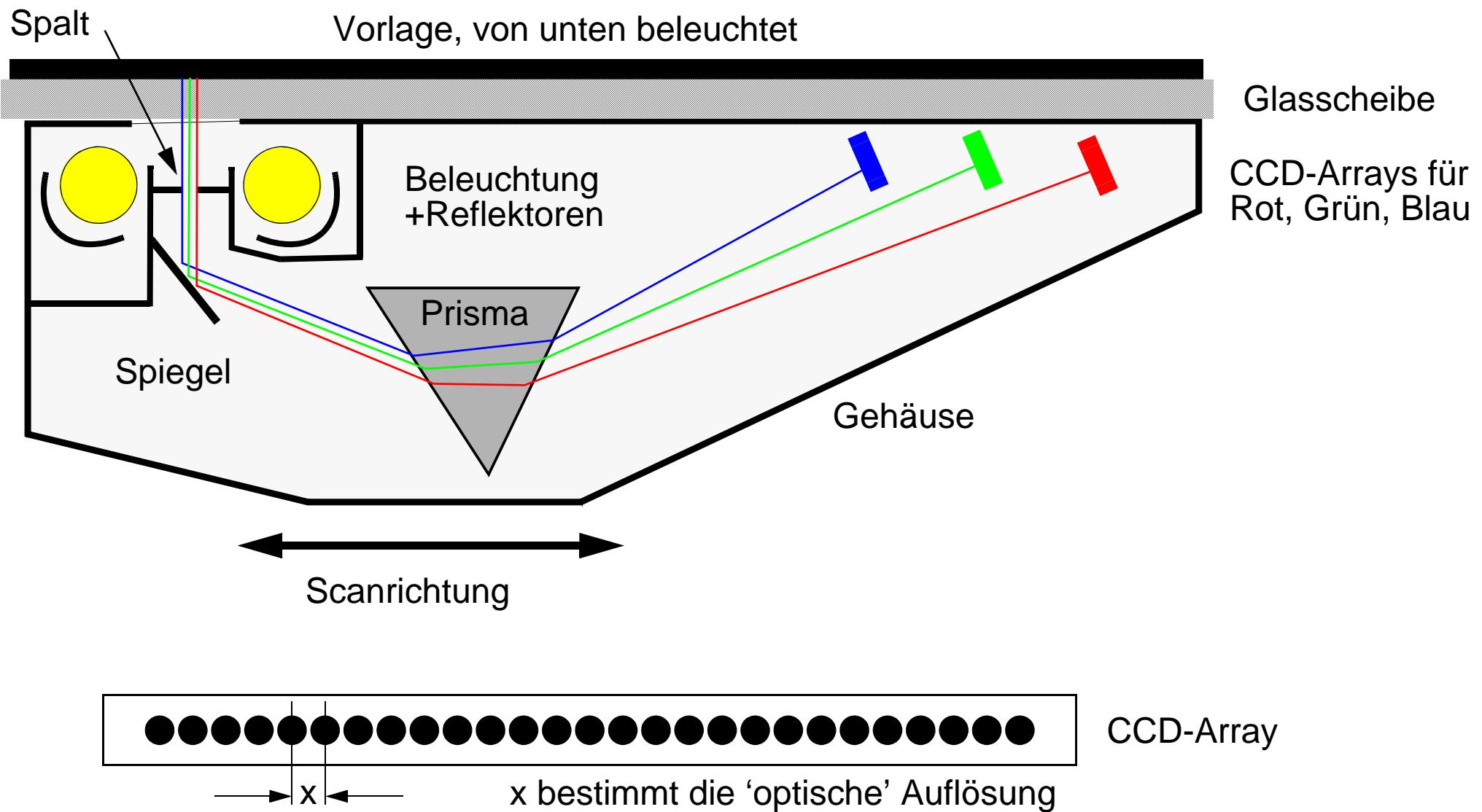
Optische Auflösung = Echte Umsetzung der Pixel auf dem  
CCD-Array. Übliche Auflösungen: 2400x2400 dpi (dots per  
Inch) = 2400 Pixel / 25,4 mm = 0,1mm Pixelbreite (-dicke)

Interpolierte Genauigkeit ist ein Schwindel und dient lediglich  
der Verkaufsförderung

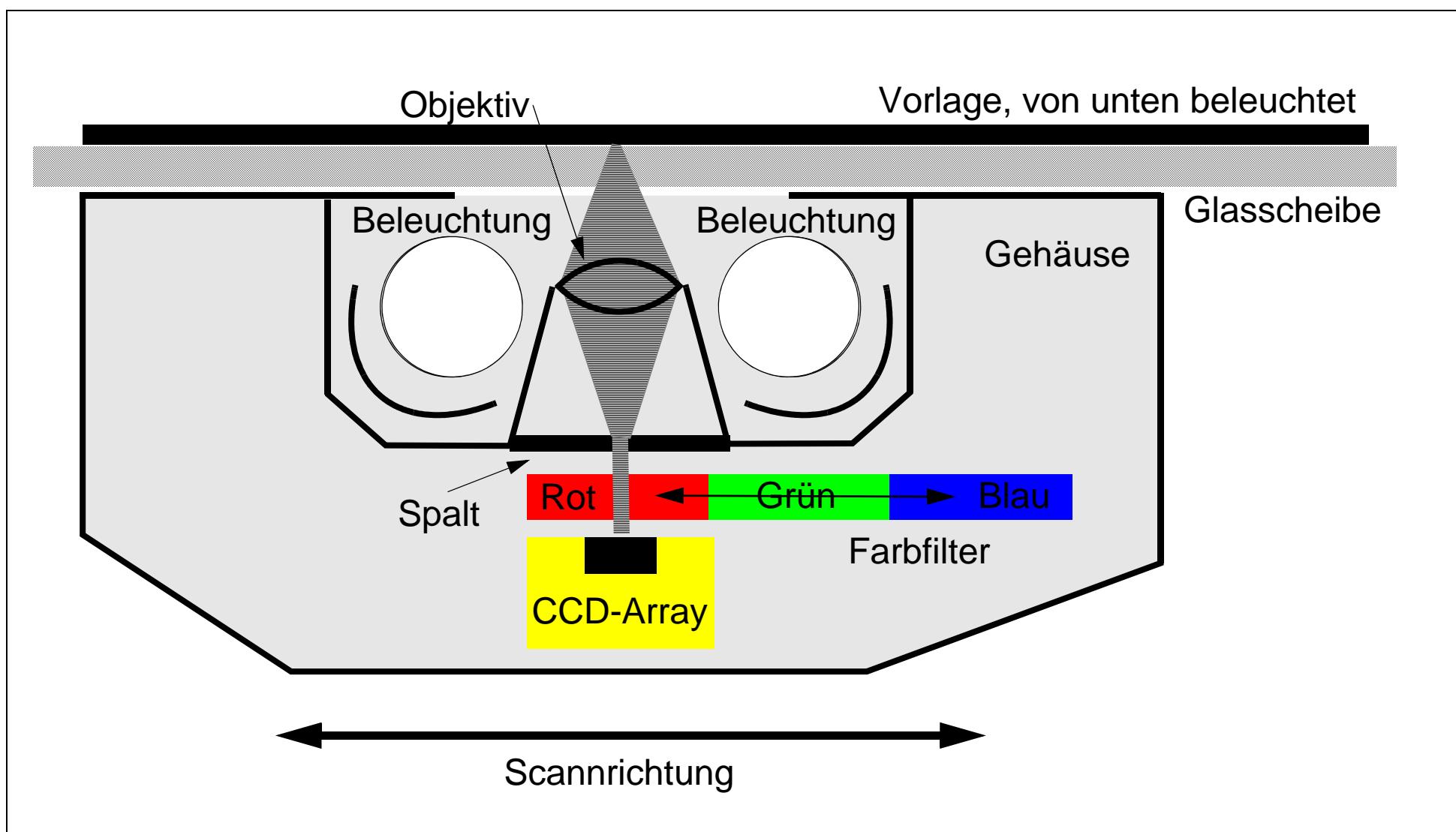
### 3.2.1 Farbauszüge



### 3.2.2 Einpass-Scanner



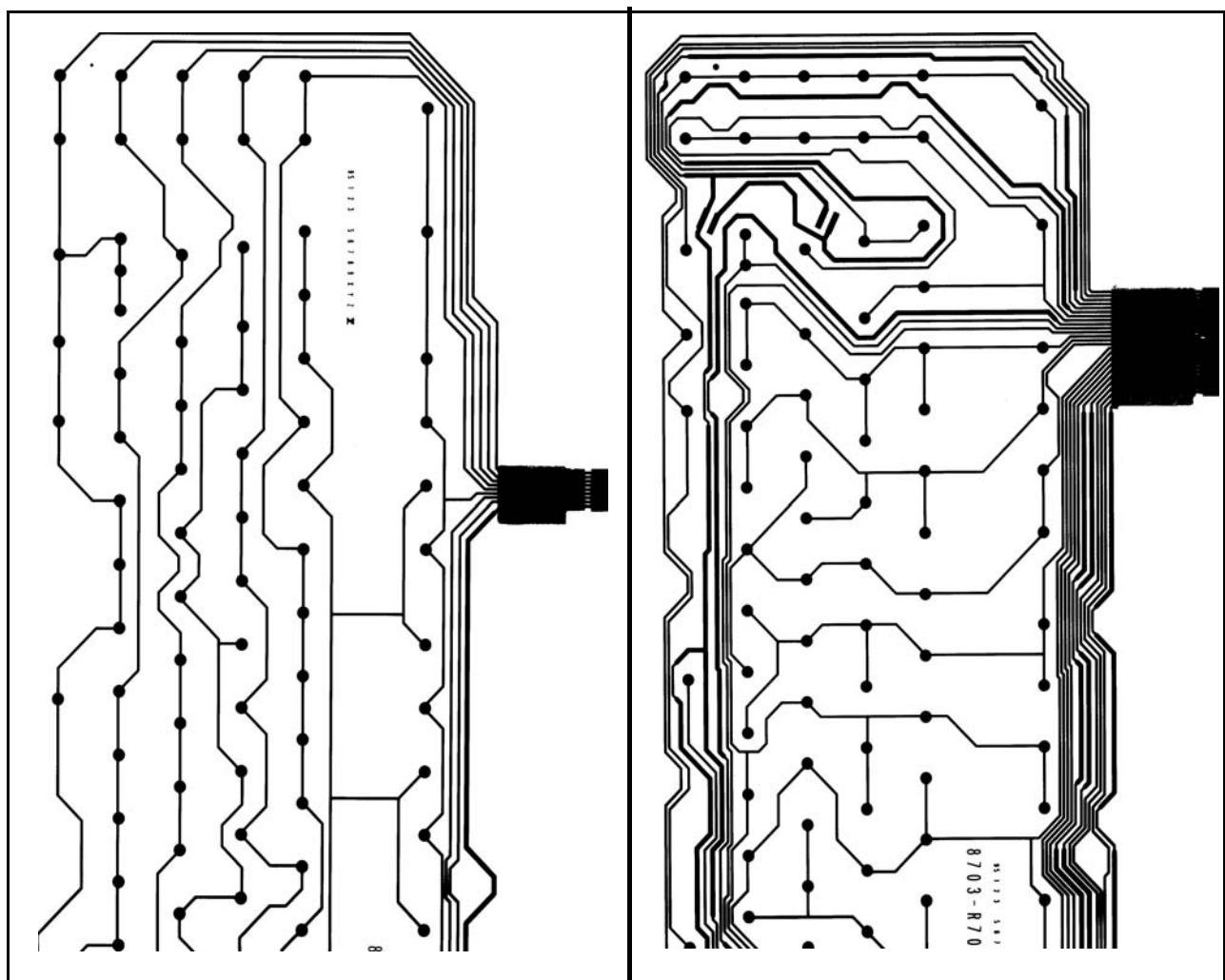
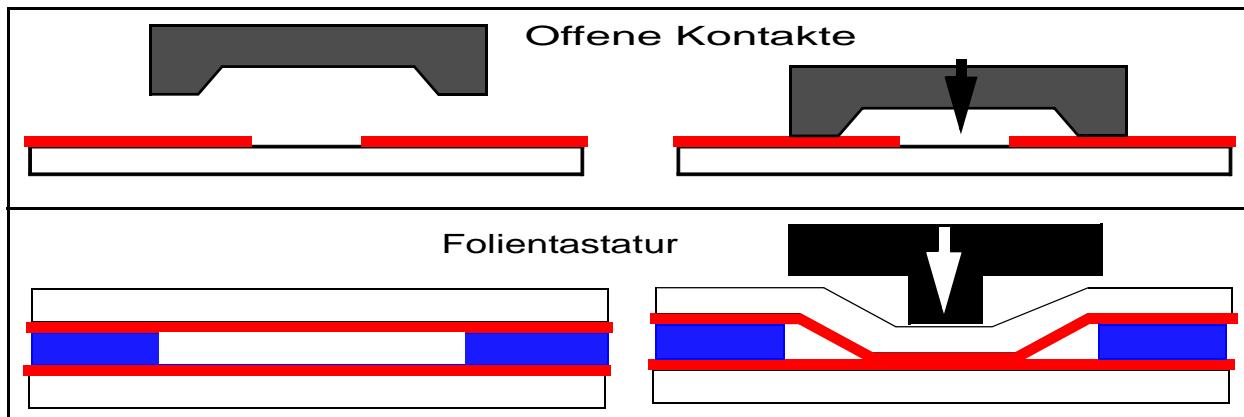
### 3.2.3 Dreipass - Scanner



### 3.3 Tastaturen

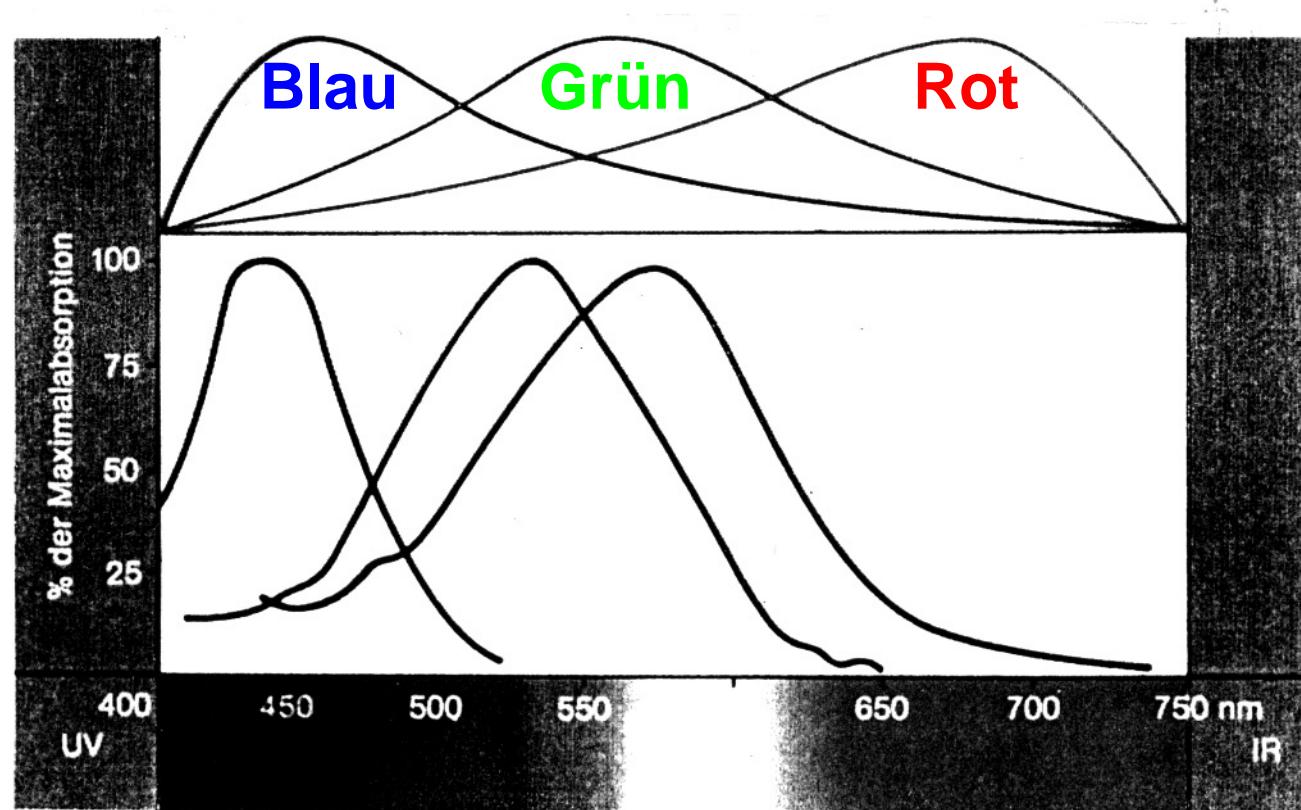
- Einsatz von „offenen“, elektrischen Kontakten (Verschmutzungsgefahr, Prellen) -> elektrisch leitender Kunststoff beim Atari
- Folientastatur
- Einsatz von Read-Relais (magnetisch zu betätigende, in Glasröhrchen eingeschmolzene Kontaktzungen)
- Einsatz von Hall-Generatoren (sehr zuverlässig)

### 3.3.1 Tastaturen



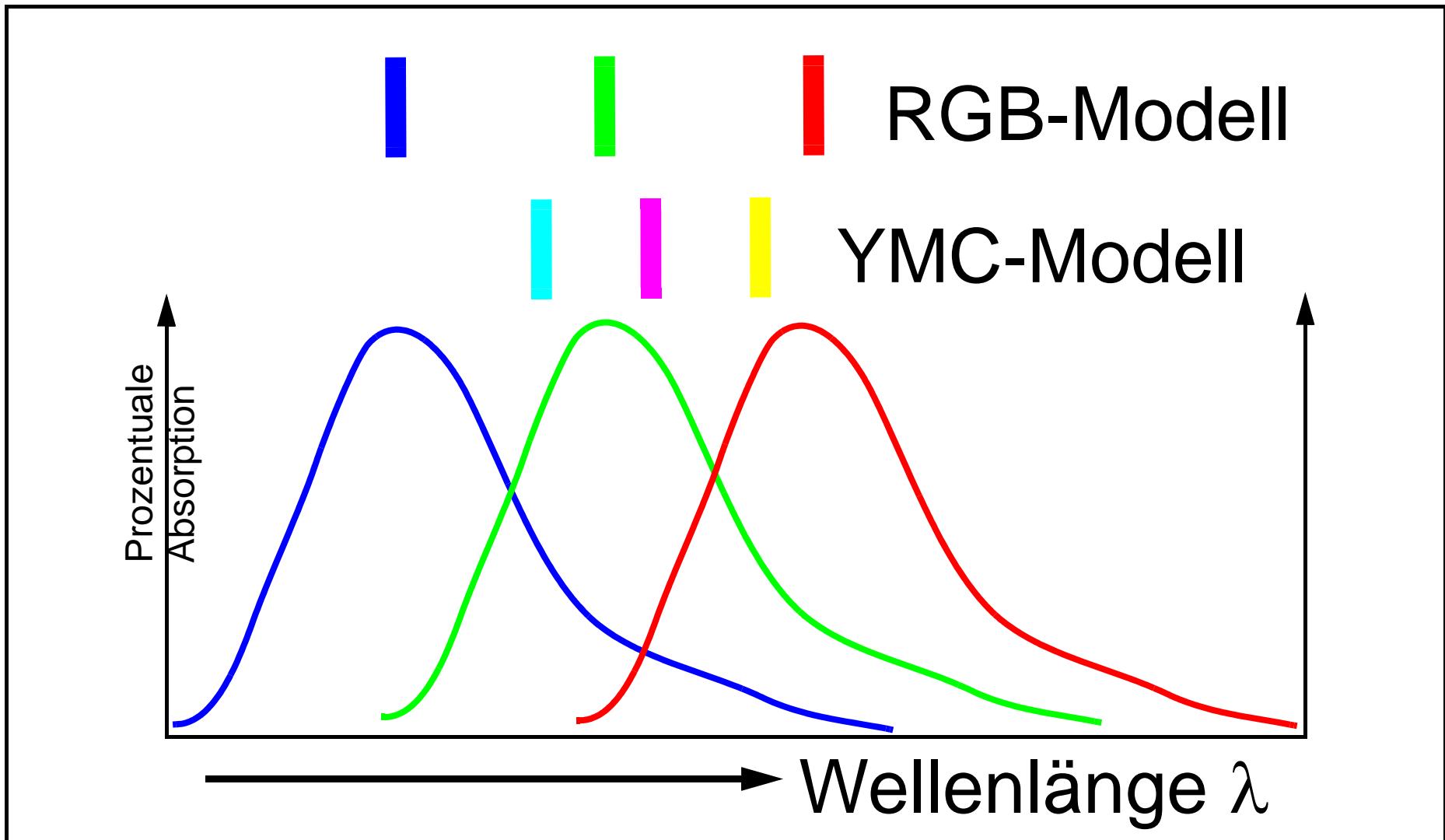
### 3.4.1 Farbsehen (Phosphore ...)

Obere Kurven: Ideale „Gleichverteilung“ dreier Phosphore für Farbdarstellung (RGB-Modell)

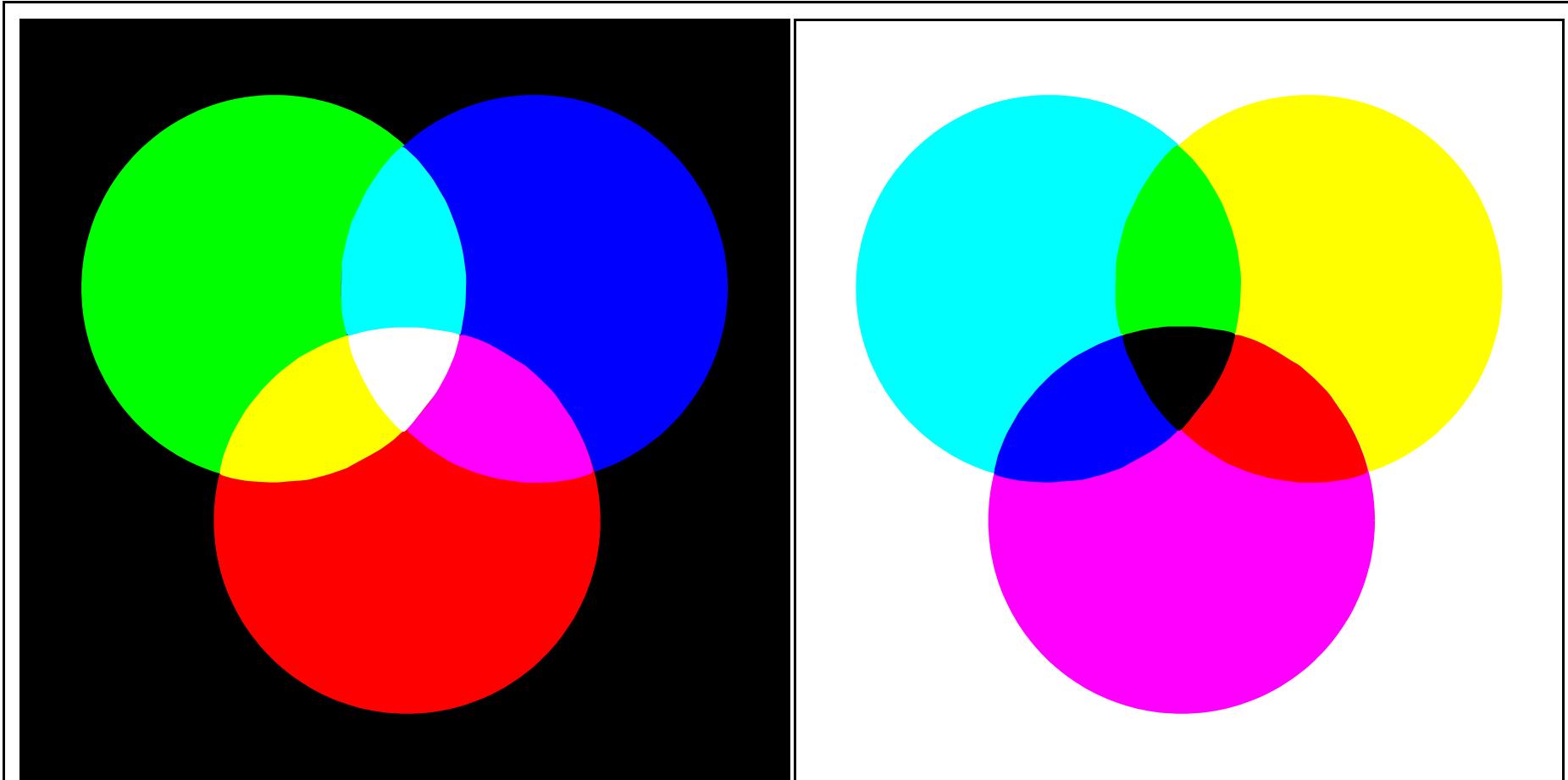


unten: Normierte Absorptionsmaxima der Zapfen im menschlichen Auge,  
der Sehpurpur (Rhodopsin) wird von der Retina „geliefert“

### 3.4.2 Wie entsteht die Farbe „weiss“ im Gehirn



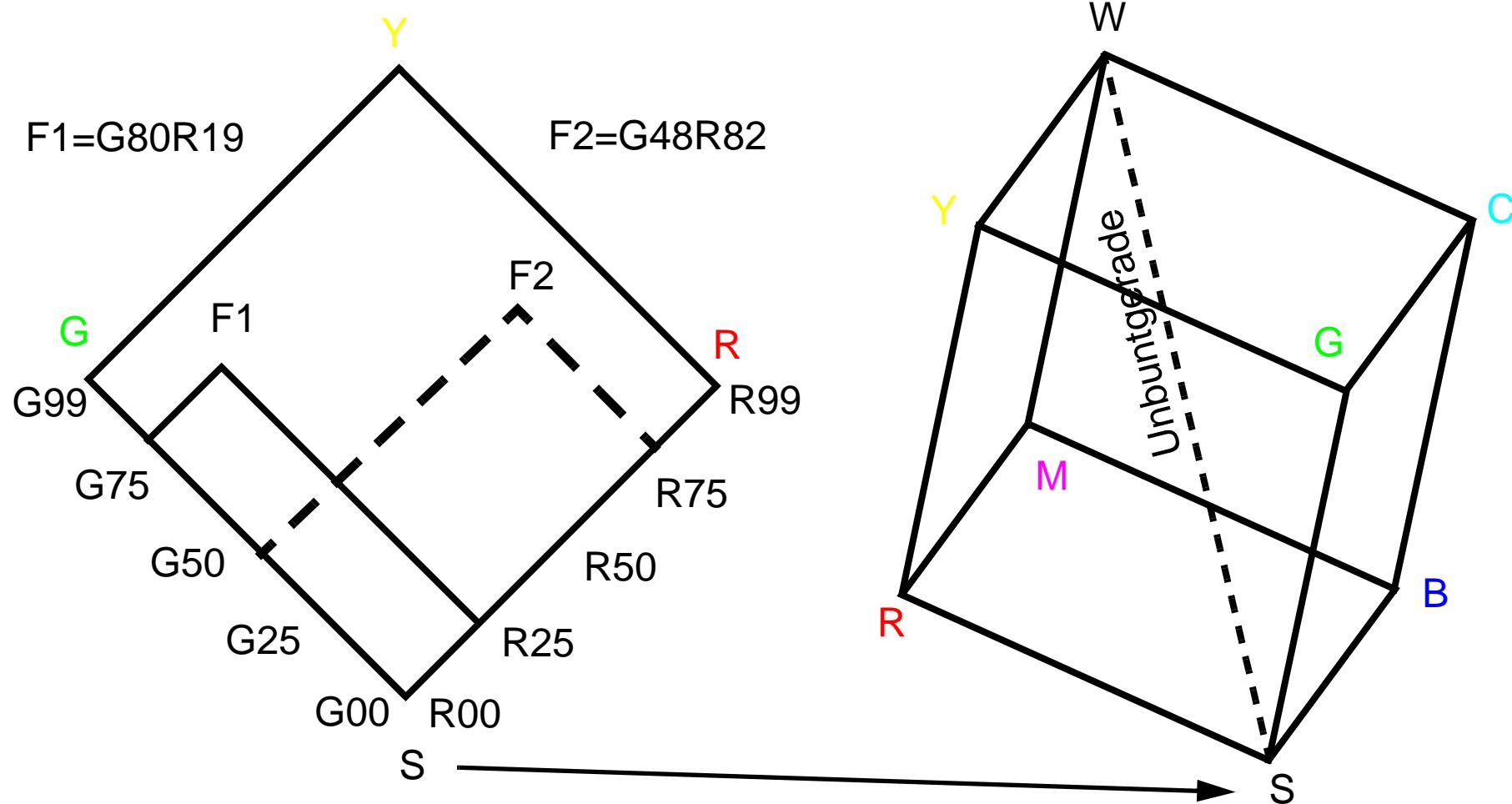
### 3.4.3 Farbmodelle 1



**Additive** Farbmischung (RGB):  
Bildschirme (selbstleuchtend)

**Subtraktive** Farbmischung (YMC):  
Tintenstrahl, Laserdrucker

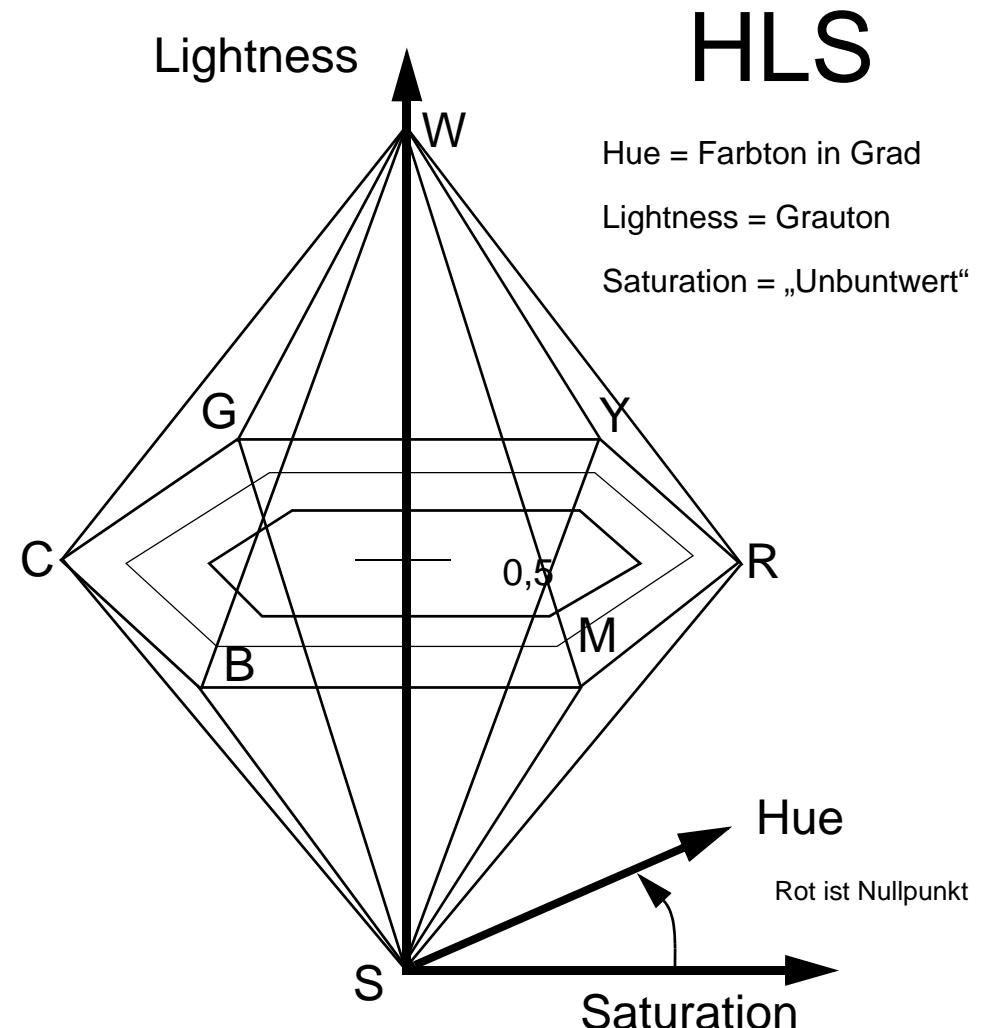
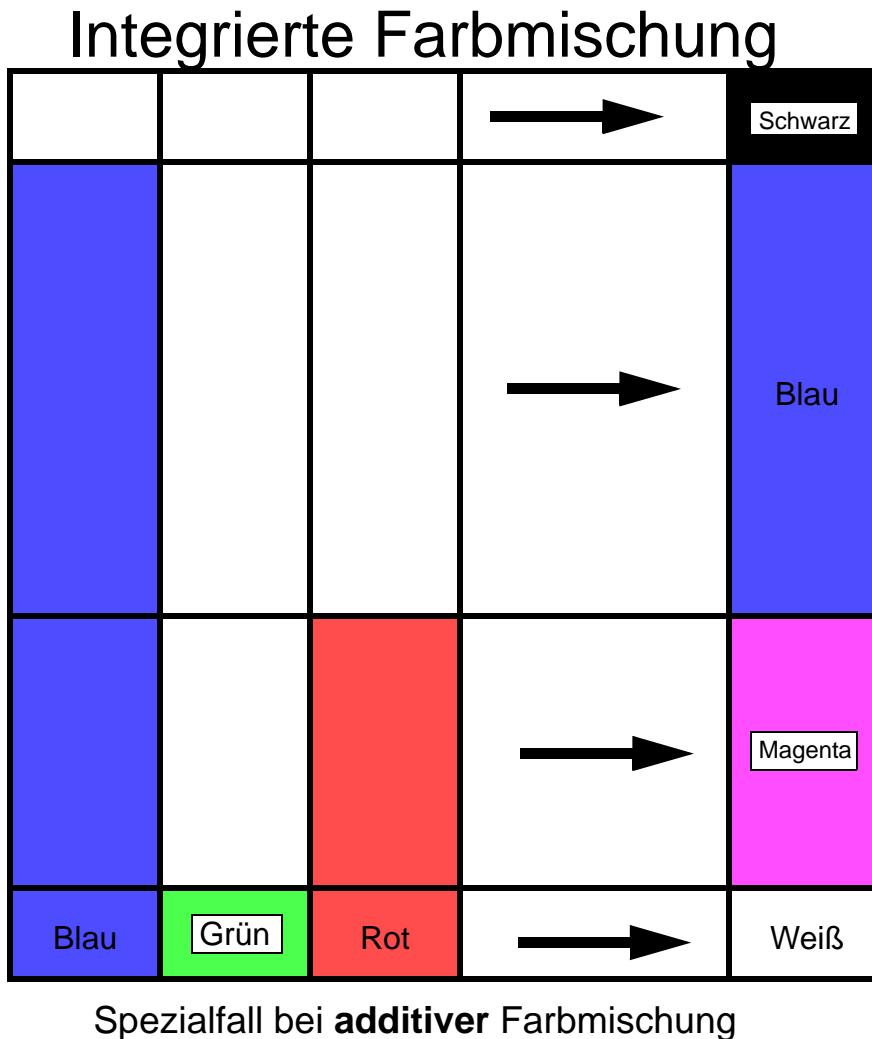
### 3.4.3 Farbmodelle 2



Additive Mischung von „Urfarben“ im Rhombus

Die 6 „Grundfarben“ im Rhomboeder

## 3.4.5 Farbmodelle 3

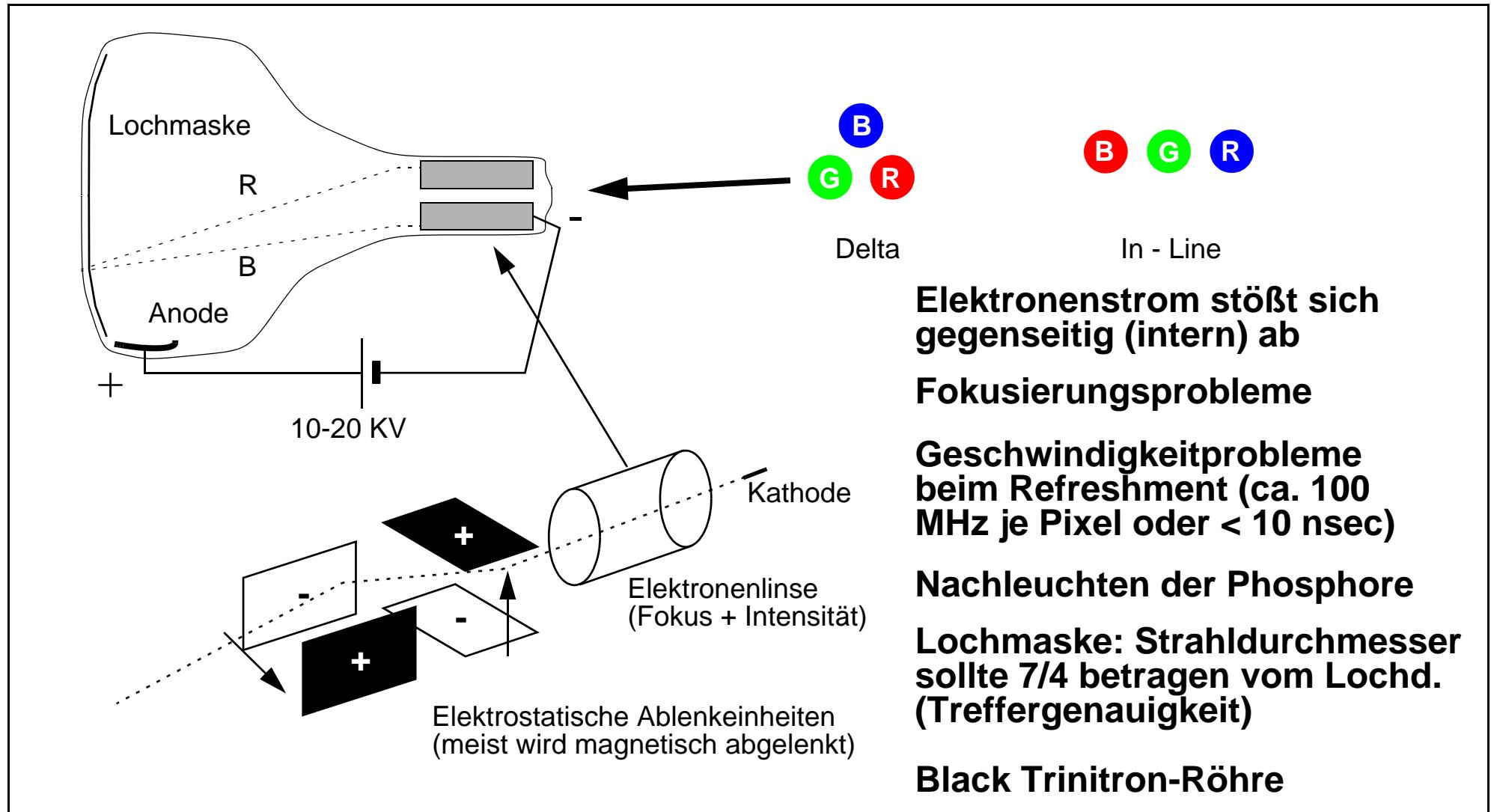


# 4.1 Bildschirmtechnik

Übersichtstabelle verschiedener Darstellungsformen

↓ Prinzip → Forderung	volle Fersehauflösg.	Schwarz-Weiß-Bild	voll farbtüchtig	vollständige Grauskala	hoher Kontrast möglich	Wirkungsgrad = Bildröhre	großer Bildschirm möglich	lange Lebensdauer	Billiger als Bildröhre	einfache Herstellung
Array aus integrierten Dreifarben-LED										
Verdrillt nematische Flüssigkristalle, TFT-Ansteuerung										
Magneto-optische Prinzipien										
ZnS-Lumineszenz-Pulver TFT-Ansteuerung										
Matrix aus schwarz-weißen Magnetkugeln										
Elektronenstrahl mit Lawinen-Vervielfachung										
Vielfach-Elektronenstrahl										
wechselspannungsbetriebener Plasmaschirm										

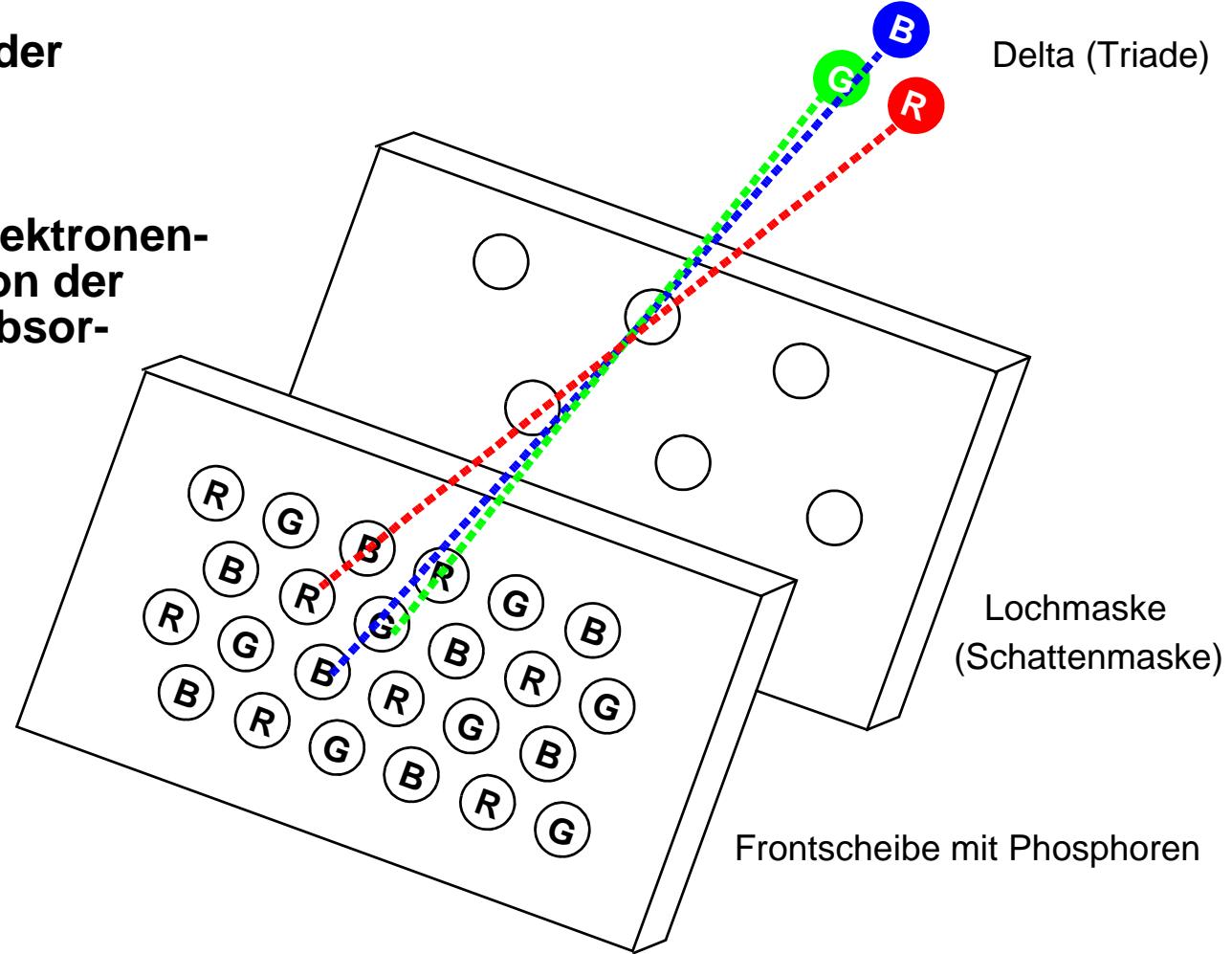
## 4.1.1 Bildschirme mit Elektronenstrahl



## 4.1.2 Delta-Anordnung der Kanonen

Kugeloberfläche der Vorderfront

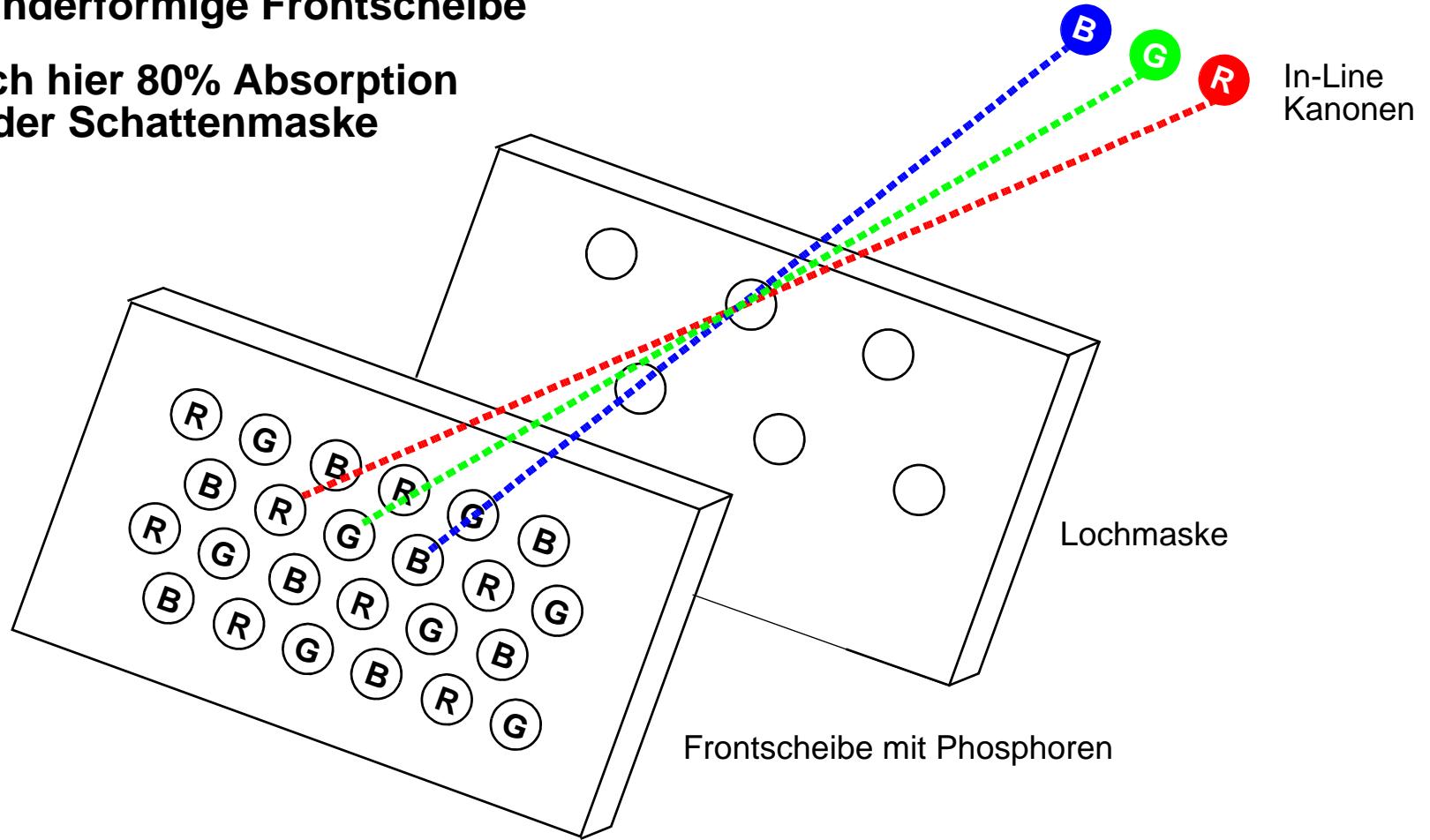
80 Prozent des Elektronenstroms werden von der Schattenmaske absorbiert



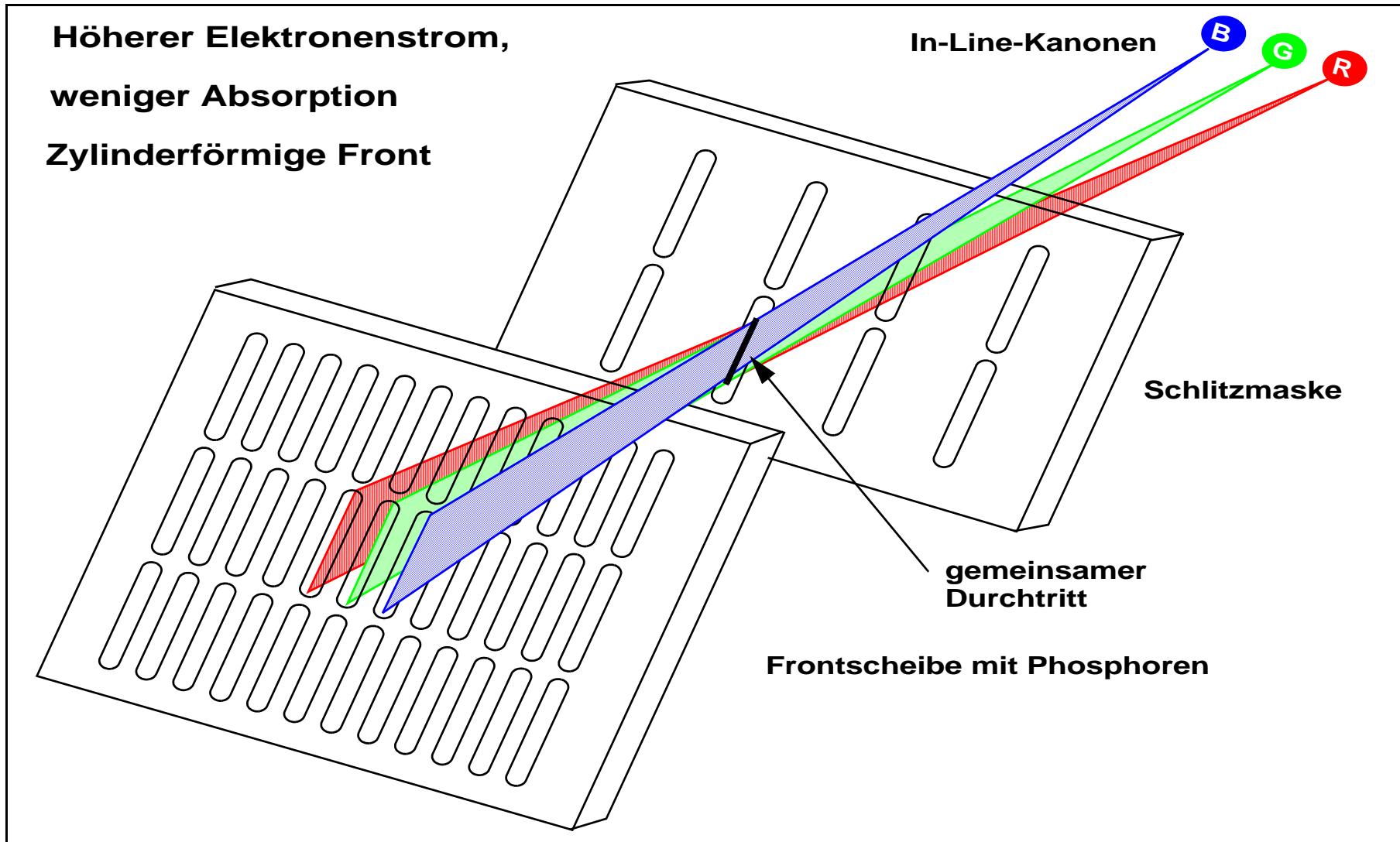
## 4.1.3 In -Line Anordnung der Kanonen

Zylinderförmige Frontscheibe

Auch hier 80% Absorption  
an der Schattenmaske



## 4.1.4 Schlitzmasken-Bildschirm



## 4.2.1 Flach / tief

Philips erzielt Fortschritte durch Kanalvervielfacher:

### Flachbildschirm für professionelle Anwendungen

**REDHILL (pi)** — Die Entwicklung einer flachen Bildröhre mit einer Bilddiagonale von zwölf Zoll und (zunächst noch) der für Fernsehgeräte üblichen Auflösung ist Wissenschaftlern des Philips-Forschungslaboratoriums in Redhill (Großbritannien) gelungen. Die Röhre ist weniger als drei Zoll tief. Anwendungen sind vorläufig ausschließlich im professionellen Bereich zu erwarten.

Die flache Elektronenröhre besteht aus einem Elektronenstrahl- system, Ablenkplatten, einem Elektronenvervielfacher-Feld, einem Leuchtschirm und einer Frontplatte, die vakuumdicht in ein Metallgehäuse eingeschmolzen ist. Wegen der Elektronenvervielfachung genügt ein Elektronenstrahl mit niedriger Stromstärke (kleiner als  $1 \mu\text{A}$ ) und niedriger Energie (400 eV). Der Elektronenstrahl bewegt sich durch den hinteren Teil der Röhre zu einer Umkehrlinse, wo er um nahezu 180 Grad in Richtung auf den vorderen Teil abgelenkt wird. Eine zentrale Zwischenwand trägt eine Reihe von Vertikal-Ablenkplatten, die ein Feld erzeugen, das den Strahl zum Vervielfacher führt. Der Strahlstrom aus der Elektronenkanone wird von dem Vervielfacher mehrere hundertmal verstärkt, bevor die Elektronen auf den Schirm zu beschleunigt werden. Wegen der niedrigen Primärstrahlenergie und des niedrigen Primärstrahlstroms kann das Ablenksystem unorthodox aufgebaut sein. Vertikal-Ablenkung wird durch sukzessives Anheben der Potentiale an den Vertikal-Platten erreicht. Elektrostatische Ablenkeinheiten in der Nähe der Elektronenkanone sorgen für die Horizontal-Ablenkung.

In bezug auf Bildfeld und Auflösung sind viele Fortschritte erzielt worden. Der Abstand zwischen den Kanalmitten des Vervielfachers beträgt nur noch 0,55 Millimeter, was bei einem Bildschirm von 305 Millimeter Durchmesser zu ungefähr

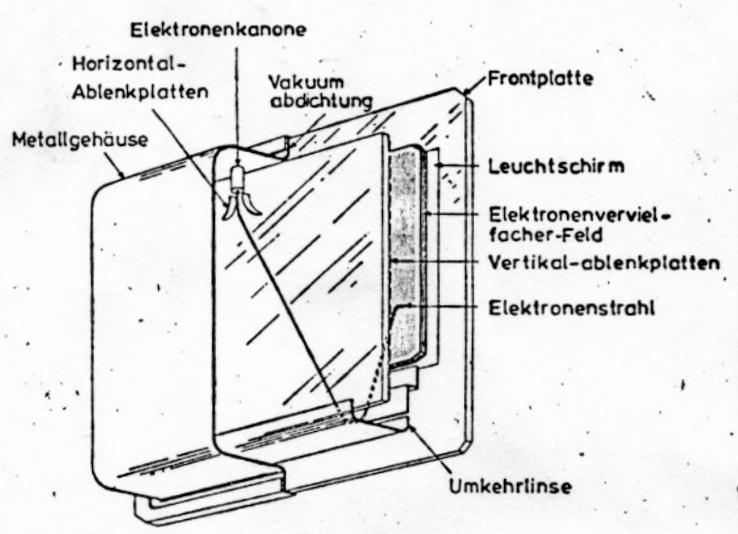
170 000 Bildpunkten führt. Die Auflösung des Schirmbildes und die Grauwertauflösung sind für Fernsehanwendungen geeignet. Der Brennfleck ist so klein, daß die Auflösung der Röhre durch den Abstand der Kanäle im Vervielfacher begrenzt wird. Der wesentliche, die Lebensdauer der flachen Bildröhre bestimmende Faktor, ist die zeitliche Abnahme der Verstärkung des Vervielfachers. Tests mit Vervielfächern zeigen, daß nach 7500 Stunden Dauerbetrieb die Verstärkung auf 63 Prozent ihres ursprünglichen Wertes zurückgeht.

Farbe ist für viele professionelle Anwendungen wichtig, und es sind zahlreiche Methoden der Farbdarstellung untersucht worden. Durch den Elektronenvervielfacher entstehen Probleme, die sich von denen bei einer Schattenmaskenröhre stark unterscheiden. Farbwahl ist sowohl vor als auch hinter dem Vervielfacher möglich. Erfolgt sie vor dem

Vervielfacher, so muß jedem Primärstrahl eines Farbtripels ein Kanal zugewiesen werden. Dies begrenzt die maximal mögliche Auflösung bei der Farbdarstellung auf ein Drittel der Monochromauflösung.

Das Philips-Forschungslaboratorium in Redhill untersucht Verfahren, bei denen ein Elektrodensystem am Ausgang des Vervielfachers die austretenden Elektronen auf einen Leuchtstoff der gewünschten Farbe richtet. Die Röhre hat ein einziges Strahlensystem und erfordert eine sequentielle Farbwahlfolge. Wegen der niedrigen Ablenkspannungen und der hohen Bildhelligkeit ist die Röhre für diese Betriebsart besonders geeignet. Zwei Verfahren werden untersucht, die Punkt-und-Ring-Methode und die Ablenkmethode.

Computerwoche  
4. Oktober 1985



Prinzipieller Aufbau des neuen Philips-Bildschirms

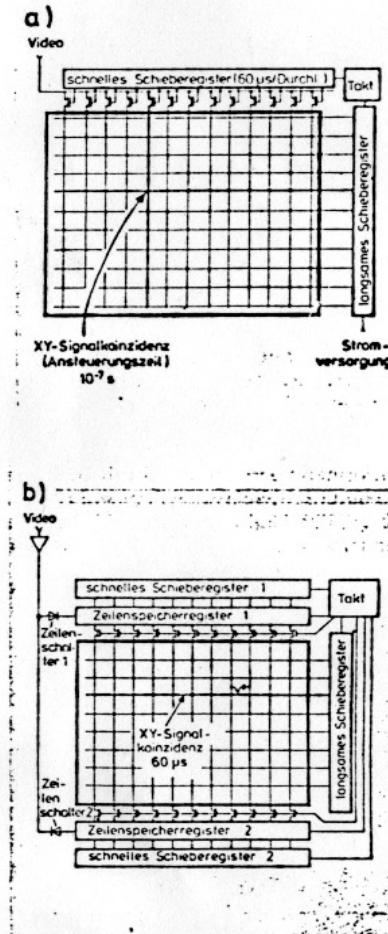
Worldwide Demand for Large Area Flat-panel Displays  
(\$ millions)

By Technology	1982	1987	1992
LCD	2.3	1282	3060
EL	0	280	715
AC Plasma	2.5	174	530
Flat CRT	1	54	200
Total	5.8	1790	4505

Source: Arthur D. Little, Inc.

**Liquid Crystal Display**  
**Electro Luminescent**  
**Alternate Current Plasma**  
**Flacher Bildschirm (CRT)**

## 4.2.2 Flache Fernseh-Bildschirme



### Prinzipien der Matrix-Adressierung

Ersetzt man die Elektronenstrahl-Adressierung durch eine X-Y-Koordinaten-Matrix-Ansteuerung, so scheitert das (sich zunächst anbietende) sequentielle Abtasten der  $10^6$  Bildpunkte [1]: Die jetzt verfügbaren, in Massen herstellbaren „Schalter“ vertragen leistungsmäßig nicht die erforderlichen starken 10-MHz-Stromstöße, die Induktivität der Matrix wäre zu groß, schließlich könnten die Bildpunkte in der kurzen Ansteuerungszeit von  $10^{-7}$  s die für eine Bildperiode von 1/25 s aufzunehmende Energie nicht zerstörungsfrei absorbieren. Bild 1 a zeigt das Prinzip dieser Ansteuerung.

Eine Verbesserung gegenüber der punktweisen Adressierung ist die zeilenweise Ansteuerung [2] nach Bild 1 b. Hier wird das ankommende Amplitudemodulierte Fernsehsignal (Videosignal) zunächst für eine Bildzeile in einem Zeilenspeicherregister in 625 Kondensatoren eingespeichert und anschließend in die 625 Spalten entladen (von wo es in die jeweils eingeschaltete Zeile fließt). Währenddessen wird die nächste Bildzeile in das andere Zeilenspeicherregister eingeschrieben usw. Dafür sind jetzt 60 µs verfügbar, d. h. die Frequenz

ist nun mit nur 15 kHz von der Matrix aufzunehmen.

Die Bildpunkte haben jetzt zwar mehr Zeit (60 µs), die Bildenergie aufzunehmen; das Multiplex-Verhältnis (625 : 1) ist aber für die meisten verfügbaren elektro-optischen Materialien immer noch unerträglich hoch.

### Anforderungen an einen flachen Bildschirm

Hochentwickelte Elektronenstrahl-Bildröhren haben nur noch wenige, allerdings schwerwiegende Nachteile: Sie sind voluminös, schwer und zerbrechlich; sie flimmern und emittieren weiche Röntgenstrahlen. Darüberhinaus sind sie mit Bildverzerrungen behaftet und können nicht beliebig großflächig hergestellt werden.

Will man diesen Bildröhren mit einem auf einem anderen Prinzip beruhenden flachen Bildschirm (Flachbildplatte) erfolgreich Konkurrenz machen, müssen folgende Grundbedingungen erfüllt sein:

- Ähnlich gute Bildqualität (ohne Verzerrungen, kein Flimmen, gute Farbbildwiedergabe, hoher Kontrast).
- Niedriger Preis.
- Entscheidende andere Vorteile, z. B. größere Fläche, geringeres Volumen oder geringerer Energieverbrauch.

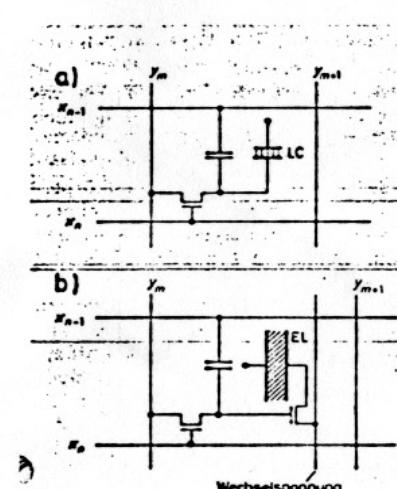
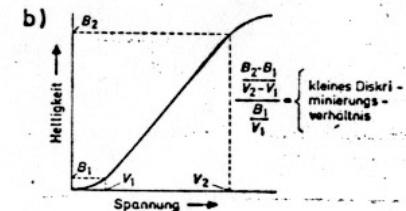
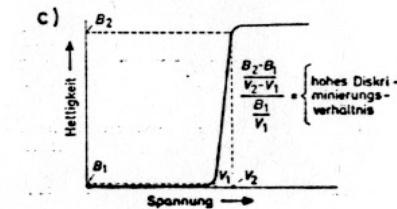


Bild 2. Elementarspeicher  
a) Flüssigkristallzelle (LC)  
b) Elektrolumineszenzzelle (EL)



b) lineare Grauskala eines elektrooptischen Materials (wechselseitigempfindlich)



c) „knieförmige“ Grauskala (wechselseitig-unempfindlich)

## 4.2.3 Mikro-Systemtechnik für HDTV

### Kipplige Pixel im Heimkino

Neue Technik zur Wiedergabe von TV-Bildern

**O**rdentlich in Reih und Glied auf einem Siliziumchip aufgestellt, kippen 307 200 winzige Spiegel wie Wippen auf einem Kinderspielplatz hin und her. Jeder einzelne mißt nicht einmal Haarsbreite. Computergesteuert empfangen die Mikro-Reflektoren Licht von einer 1000-Watt-Lampe und werfen es auf eine Leinwand. Dort erscheint ein brillantes Fernsehbild, etwa so groß wie die Bilder von einem Heimkino.

Auf einer Fachkonferenz der „Society for Information Display“ in Seattle stellte der amerikanische Elektronik-Konzern Texas Instruments (TI) in der vergangenen Woche seinen wundersamen Spiegelchip erstmals der Öffentlichkeit vor. Die Technologie mit dem Namen

„Digital Micromirror Device“ (DMD) soll nach dem Wunsch von TI-Managern „die Art, wie die Welt fernsieht, von Grund auf verändern“.

In mehr als 20jähriger Entwicklungsarbeit ist dem DMD-Erfinder Larry Hornbeck eine der ersten erfolgversprechenden Anwendungen der jungen Mikromechanik-Technologie (SPIEGEL 3/1992) gelungen. Das Fachblatt *Aviation Week* kommentierte, von der DMD-Technik seien „Milliardengewinne zu erwarten“.

Seit Computer- und Fernsehtechnik immer

mehr verschmelzen, versuchen Ingenieure, auch die Darbietung auf Computer- und Fernsehbildschirmen zu digitalisieren. Die rauscharme Klangqualität der CD ließe sich damit auf die Güte bewegter Bilder übertragen.

Digital, also computergerecht mit Folgen von „Nullen“ und „Einsen“, lassen sich bereits die farbigen Flüssigkristall-Bildschirme (LCD) ansteuern, die in tragbare Fernseher oder Computer eingebaut werden. Doch die Herstellung der Flüssigkristall-Bildschirme ist technisch extrem aufwendig.

Der DMD-Baustein von Texas Instruments hingegen, der Chancen hat, die gute alte Bildröhre zu verdrängen, fußt auf konventioneller Siliziumchip-Tech-

nologie. Mit denselben Verfahren, die seit Jahrzehnten zur Produktion integrierter Schaltkreise benutzt werden, fabrizieren die Mikromechaniker die 1,5 mal 1,3 Zentimeter großen Chips mit quadratischen Aluminium-Spiegeln, die nur unter dem Mikroskop zu erkennen sind: Ihre Kantenlänge beträgt lediglich 17tausendst Millimeter (siehe Grafik).

Den Regeln der digitalen Welt folgend, kennt jeder Wippspiegel zwei Positionen: Steht im zugehörigen Speicher der DMD-Chips eine „Null“, wippt der Reflektor zur einen Seite, bei einer „Eins“ kippt er zur anderen.

Spiegelchip, Lampe und Projektionsbildschirm sind so aufeinander ausgerichtet, daß jeweils nur in einer der beiden Spiegelstellungen Licht auf den Bildschirm oder die Leinwand trifft. Binnen einer hunderttausendst Sekunden wechseln die Reflektoren ihre Stellung. So können sie sogar während einzelner Fernsehbilder, von denen pro Sekunde 25 zusammengesetzt werden, tausendfach von Hell auf Dunkel kippen. Je öfter ein Spiegel Lampenlicht auf den zugehörigen Bildpunkt lenkt, desto heller erscheint dieser Teil des Bildes für den Beobachter.

Zur Farbdarstellung lassen die TI-Ingenieure eine Farbfilter scheibe vor der Lampe schnell rotieren. So scheint abwechselnd rotes, blaues und grünes Lampenlicht auf die Spiegel – wie bei normalen Fernsehgerä-

ten setzt sich aus diesen Grundfarben der Farbeindruck zusammen.

Das DMD-Gerät wirkt mithin als eine Art Projektor für Fernsehbilder: Das Licht der Lampe wird von den Spiegeln über eine Optik auf die Bildfläche projiziert, entweder von vorne wie im Kinosaal oder, in fernseherähnlichen Gehäusen, von rückwärts auf einen transparenten Schirm. Die erreichbare Bildgröße hängt von der Lampenstärke und dem Abstand zur Leinwand ab.

Der Prototyp des Spiegel-Fernsehens, den Texas Instruments in Seattle vorstellt, baut das Bild aus einem Rechteck von 640 mal 480 Bildpunkten (Fachjargon: „Pixel“, abgeleitet von „picture element“) auf. Je ein Mikrospiegel ist für die Beleuchtung einer dieser Bildpunkte zuständig.

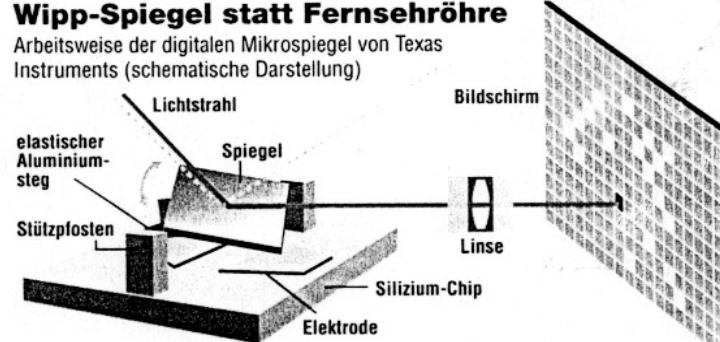
Anfang nächsten Jahres will der Elektronikriese aus Dallas ein hochauflösendes Display mit 2048 mal 1152 Pixeln präsentieren. Dieser Chip mit dann 2,3 Millionen Mikrosiegeln, fast dem Achtfachen dessen, was derzeit auf einem Spiegel-Chip paßt, würde sich auch für die geplante hochauflösende Fernsehnorm des „High Definition TV“ eignen.

Zusammen mit etlichen großen Fernseher-Herstellern, so heißt es bei TI, werde derzeit die praktische Nutzung der Technik erprobt. Für das umweltbewußte Europa hat TI ein besonderes Werbeargument im Sinn: Weil der DMD-Chip ohne starke Elektromagnete auskommt, die im normalen Fernsehgerät den Elektronenstrahl ablenken, erzeugt er nur schwache elektromagnetische Felder.

DMD-Fernseher werden daher praktisch frei sein von dem umstrittenen „Elektrosmog“ (SPIEGEL 6/1993), der in der Bundesrepublik die Gemüter und diese Woche, in einer Anhörung des Bundestagsausschusses für Post und Telekommunikation, auch die Abgeordneten in Bonn beschäftigt.

#### Wipp-Spiegel statt Fernsehröhre

Arbeitsweise der digitalen Mikrospiegel von Texas Instruments (schematische Darstellung)

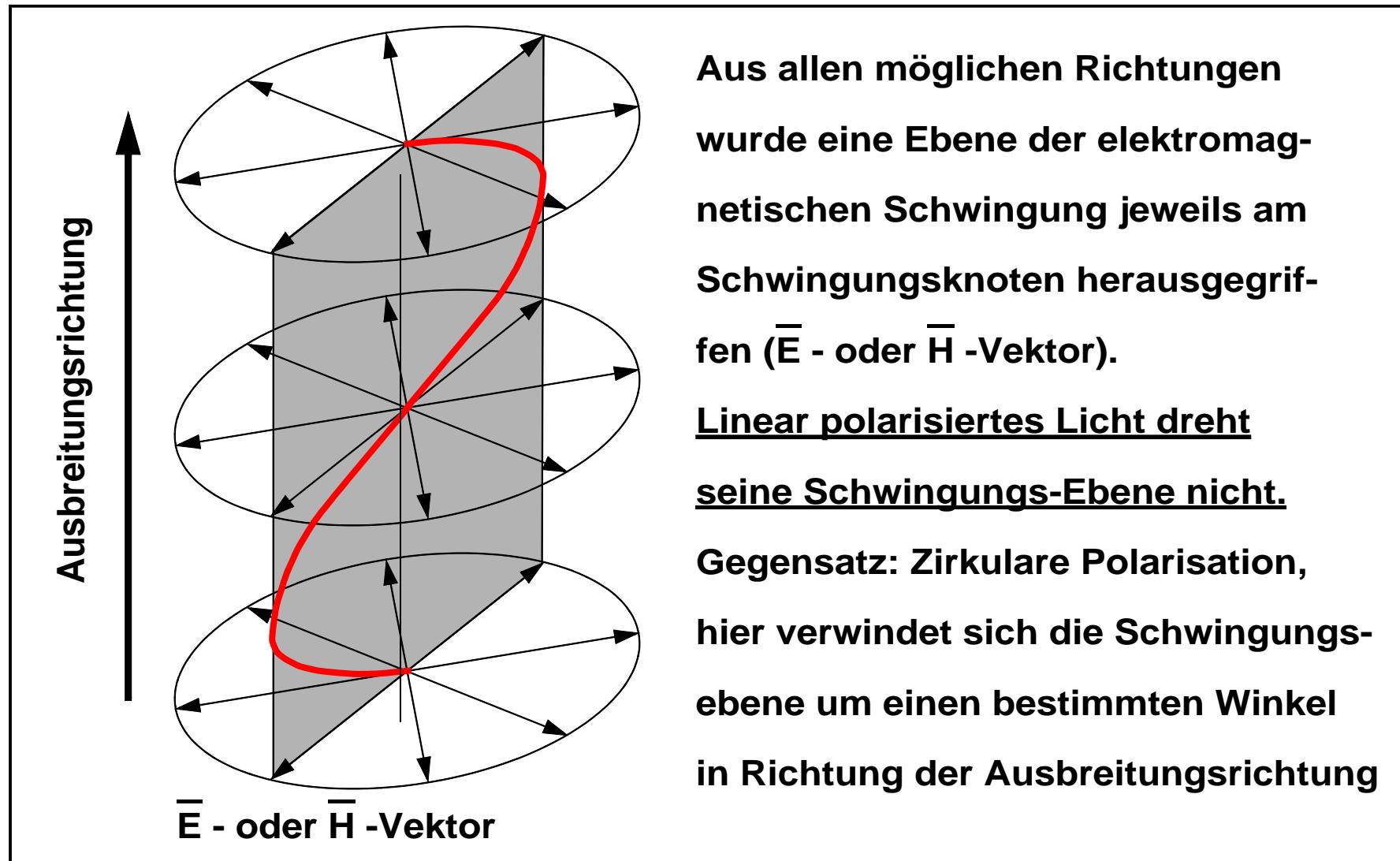


Die mikroskopisch kleinen Spiegel sind mit elastischen Aluminiumstegen auf je zwei Stützpfeilen befestigt. Um diese drehbare Achse kippt der Spiegel, wenn seine freien Ecken von Elektroden auf dem darunterliegenden Chip angezogen werden.

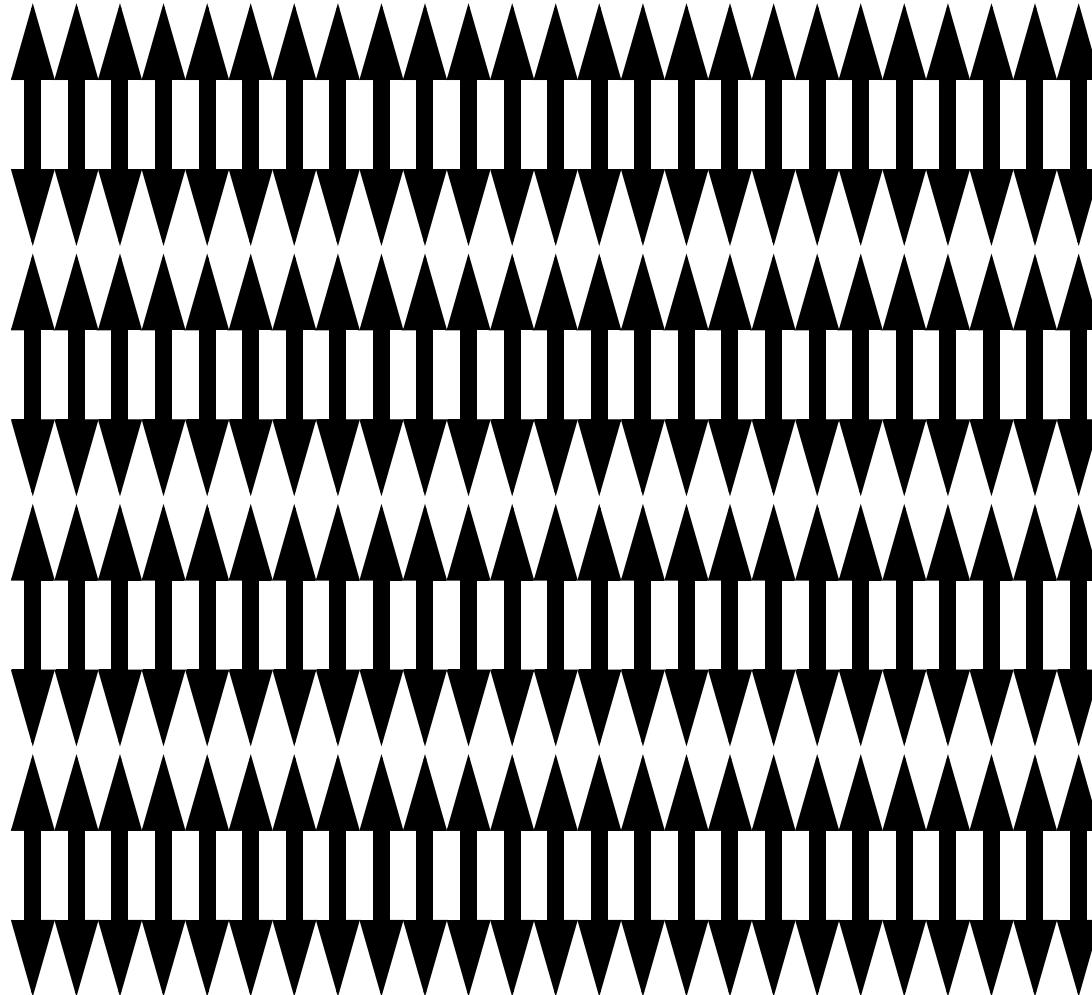
Je nachdem, welche der rund 300 000 auf dem Chip untergebrachten Minispiegel jeweils Licht auf die Leinwand reflektieren, setzt sich aus Bildpunkten verschiedener Helligkeit und Farbe das Fernsehbild zusammen.

BER SPIEGEL

## 4.3.1 Linear polarisiertes Licht



## 4.3.2 Ausschnitt Kristallanordnung in einem Polarisationsfilter

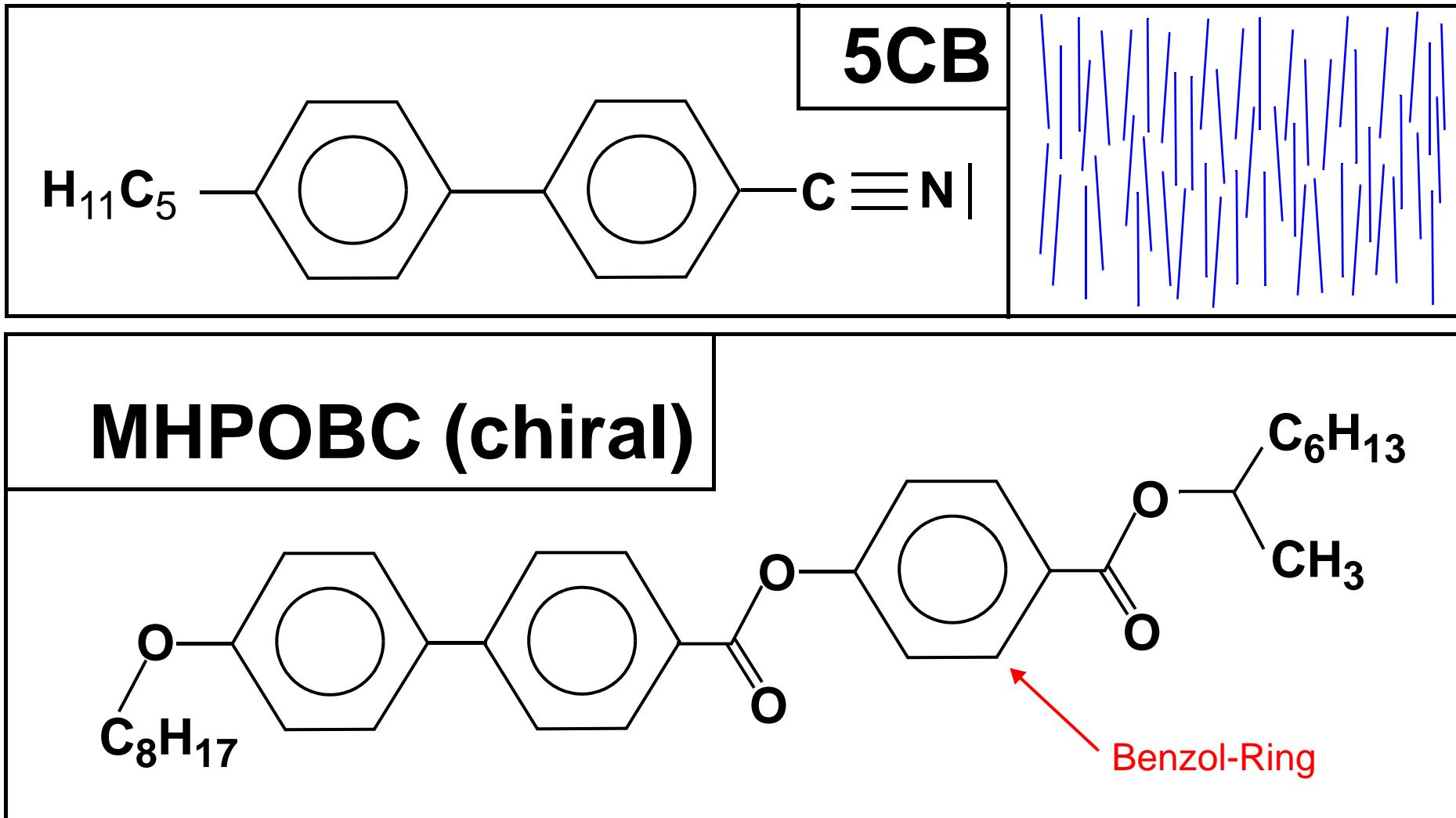


Es wurden "kristalline" Stoffe entwickelt, die **pleochroitisch** sind (Durchstrahlung senkrecht zur optischen Achse, dann wird ein "normaler" Lichtstrahl hinsichtlich seiner Komponenten (E- oder H-Vektor) in zwei senkrecht zu einander schwingende Teilstrahlen zerlegt, wobei **eine Komponente** fast total **absorbiert** wird).

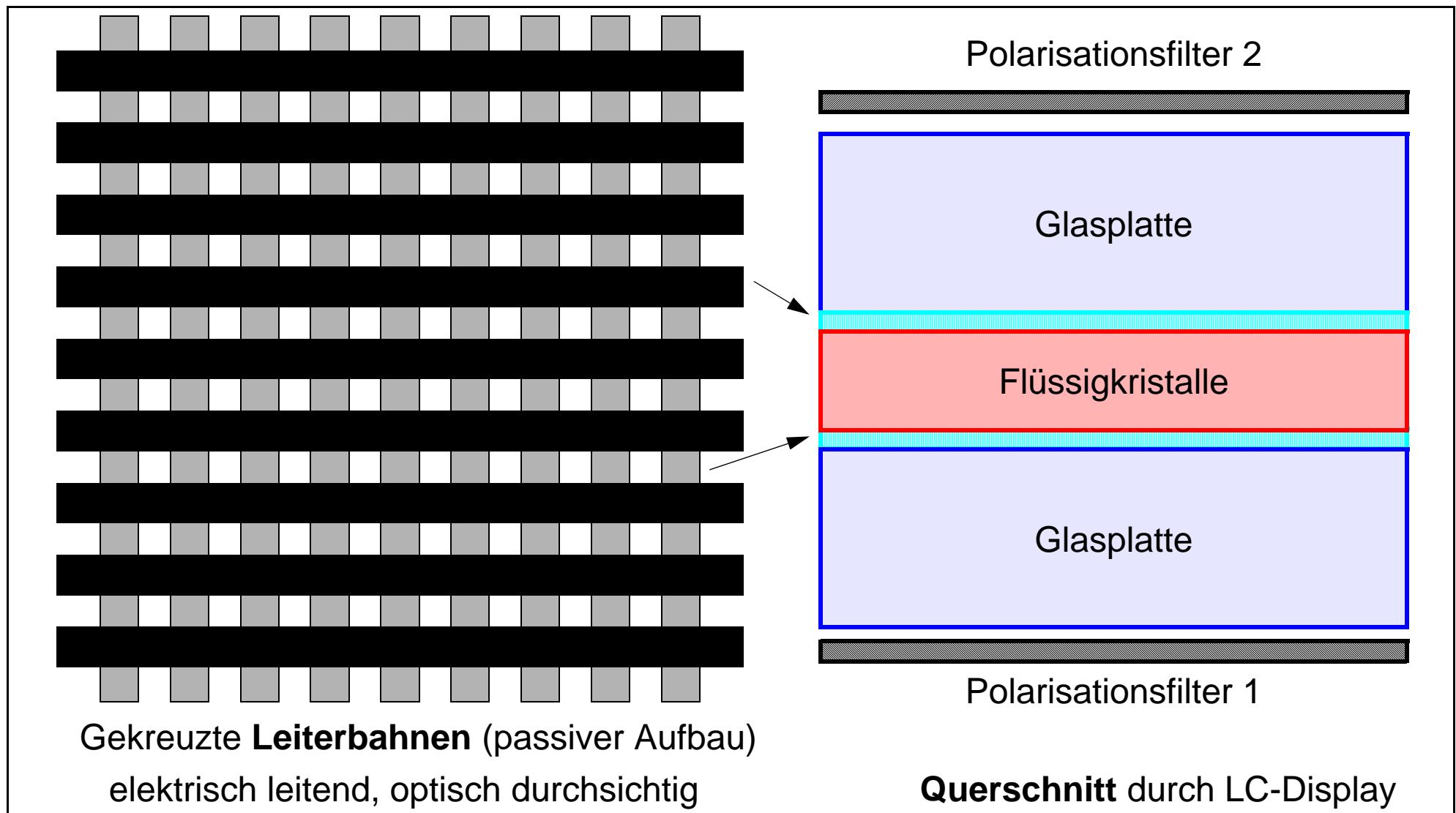
Technische Verwirklichung: Geeignete Farbstoffe werden in Kunststoff-Folie eingebettet. Durch anschließende Rekrung wird eine Vorzugsrichtung für die Polarisationsrichtung erzwungen.

Irdische Lichtquellen sind fast immer Quellen für linear schwingende Wellenzüge.

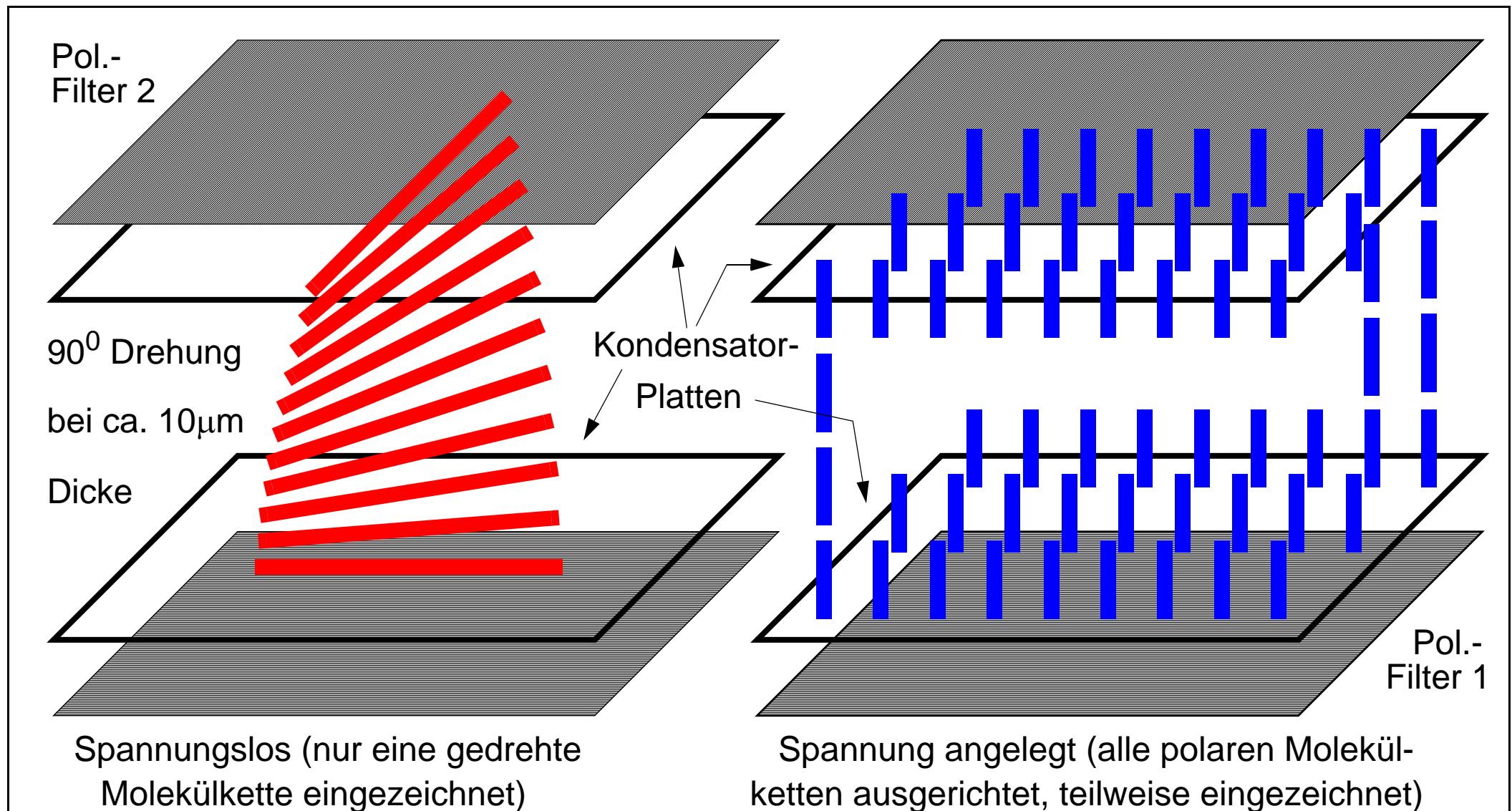
### 4.3.3 Zwei „Flüssig-Kristalle“



## 4.3.4 LCD schematisch



## 4.3.5 LCD: Querschnitt durch eine Kondensator-Zelle (1 Pixel)



## 4.3.6 Flüssigkristalle farbig

Als TFT-Gate-Isolatoren eignen sich solche Stoffe, die auch nach dem Schmelzen und Vakuum-Verdampfen noch eine gute Stöchiometrie behalten (keine Cermet-Bildung), erkennbar als Abwesenheit einer Verfärbung des ursprünglich glasklaren Zustandes. Oxid-Mischungen mit glas-keramischer Struktur sind besser als einfache kristalline Oxide.

Nicht viele Stoffe besitzen diese Eigenschaft, die meisten verfärbten sich dunkel infolge Metall-Überschusses. Reaktiv in Sauerstoff aufgesputterte Oxide zeigen diese Nachteile natürlich nicht, aber Sputtern ist – im Vergleich zu Aufdampfen – zu langsam und kompliziert und kann nicht durch Masken durchgeführt werden. (Unser Ziel ist es ja, einen rasch und billig durchführbaren Massenprozeß zu entwickeln!) Außer  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kommen  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  (Mullit) und  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{MgO}$  (Steatit) in Frage.

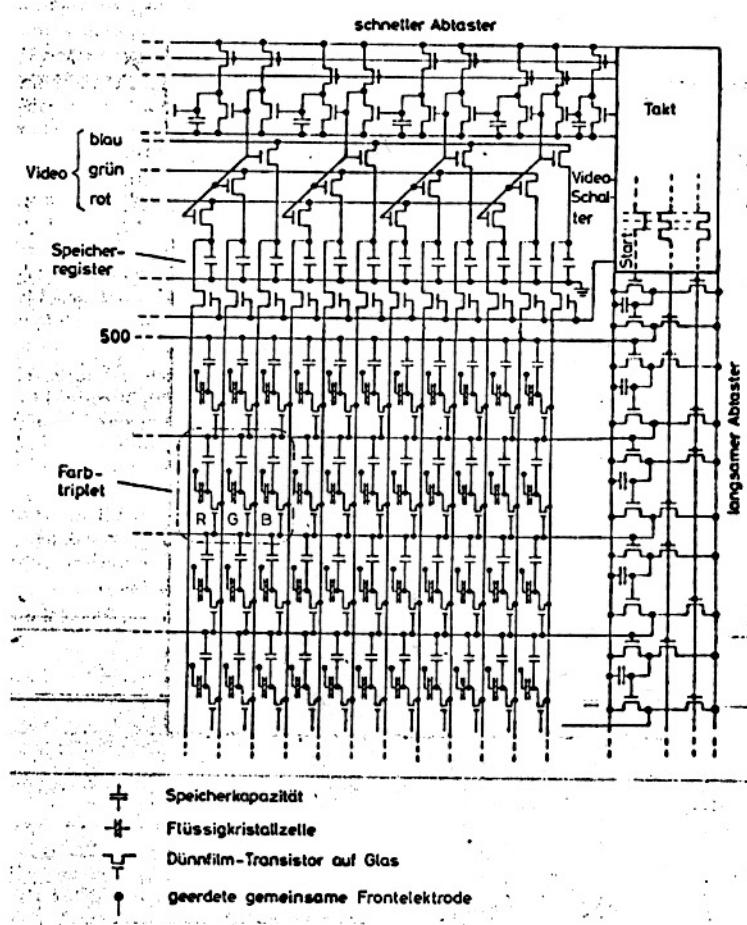
Neben n-CdSe kommt als p-Halbleiter bisher nur Tellur in Betracht [12], insbesondere für das schnelle Schieberegister. Andere Stoffe, wie Silizium oder Germanium, haben in polykristalliner Filmform noch zu viele Nachteile.

Als Metalle für Source, Drain und Gate kommen alle solchen Metalle in Frage, die an n-CdSe ohmsche Kontakte machen. Dies sind also die dreiwertigen Metalle wie In, Tl, Bi oder die Übergangsmetalle, welche n-leitende Selenide bilden, wie Ni, Cr, Ti, Mo, Ta. Es ist wichtig, daß die Source-Elektrode eine stumpfe Kante, keine scharfe Schneide hat. Sonst werden leicht Elektronen in den Isolator injiziert und der TFT taugt nicht für Hochspannung (200 V).

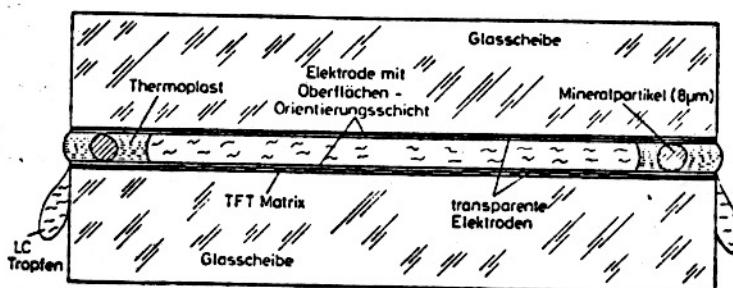
Die negative Aufladung des  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gate-Isolators im CdSe-TFT ist um so höher, je heißer das Aufdampfsubstrat ist. Alle Schichten des TFT sollen gleiche thermische Ausdehnungskoeffizienten haben, um Spannungsrisse beim Ausbacken zu verhindern.

Volle Auflösung voller Kontrast volle Bildhelligkeit Wirkungsgrad keine Verzerrungen kein Flimmern kleine und große Flächen billig	~ $10^6$ Bildpunkte >> 30 : 1, 9 Graustufen 100 cd/m <sup>2</sup> > 8 lm/W 625 Zeilen $\times$ 625 Spalten 25 Hz, ohne Nulldurchgänge Taschenfernsehgerät oder Wandbildschirm < 150 DM
---	---

Tabelle 1. Anforderungen an einen flachen Fernsehbildschirm



Vollständiger Fernsehbildschirm-Schaltkreis für Flüssigkristalle



Versiegelung von Flüssigkristallzellen

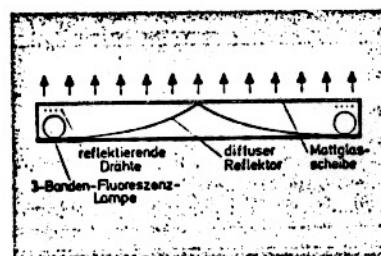


Bild 27. Flacher Lichtkasten für Hinterbeleuchtung von Displays

## 4.3.7 Elektro-Lumineszenz

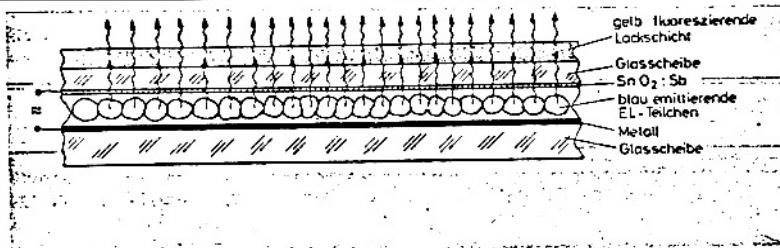


Bild 32. Querschnitt durch eine weiß leuchtende Monopartikel-ACPEL-Schicht

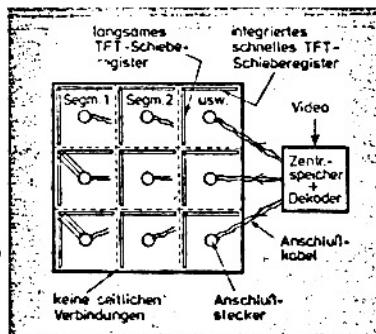


Bild 47. Aus Modulen zusammengesetzte EL-Bildplatte

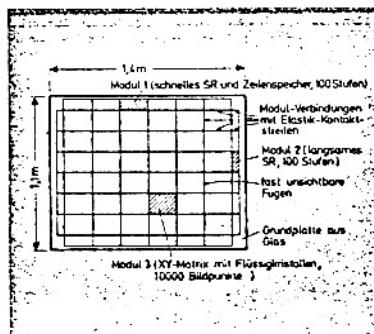


Bild 49. Großbildschirm mit seitlichen Modulverbindungen

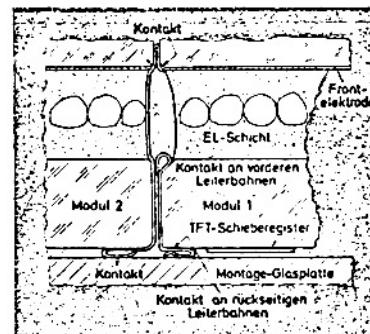


Bild 51. Verbindung zweier EL-Modulplatten mit Viellachkontakten

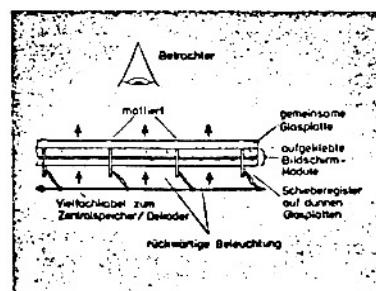


Bild 48. Anordnung der Schieberegister bei Flüssigkristall-Modulen

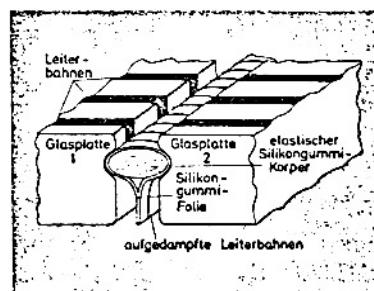


Bild 50. Viellach-Elastik-Kontaktstreifen zwischen zwei Modulen

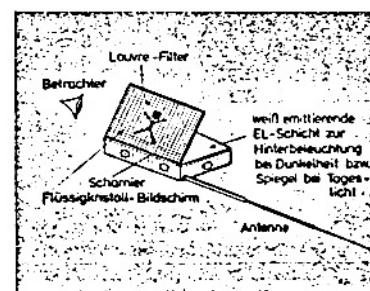


Bild 52. Illustration des geplanten Taschenfernsehgeräts

### Lichtemittierende Elektrolumineszenz-Schichten

Selbstleuchtende Elektrolumineszenz-(EL-)Schichten kann man entweder als Pulverschicht oder als Film herstellen. Darüber hinaus können sie mit Wechselspannung (AC) oder Gleichspannung (DC) angesteuert werden.

### Wechselspannungsbetriebene Film-EL-Schichten (ACFELs)

Ein Nachteil der im Vorangegangen besprochenen Pulver-EL-Schichten ist ihre grau-weiße Körpersfarbe. Sie reflektiert bei heller Umgebungsbeleuchtung viel Fremdlicht, und das bei Ansteuerung emittierte Eigenlicht muß dagegen konkurrieren. Bei heller Sonnenbestrahl-

lung kann man das Display infolge des „wash-out“-Effekts gar nicht mehr lesen. Dieses Schwinden des Kontrasts wird vermieden bei den glasklar-durchsichtigen, aufgedämpften oder aufgesputterten Film-Elektrolumineszenz-Schichten mit schwarzem Hintergrund. Zwar geht die Hälfte des emittierten Eigenlichtes an dieser schwarzen Rückwand verloren, aber 100 % des auffällenden Umgebungs-Streulichtes wird von ihr verschluckt, so daß das Display-Licht gegen den schwarzen Hintergrund immer kontrastreich lesbar ist.

# 4.4 Magneto-optische Displays

## Prinzip der magneto-optischen Lichtmodulation

Der wesentliche Teil eines magneto-optischen Lichtmodulationsbausteins ist eine nur etwa  $5 \mu\text{m}$  dünne magnetische Schicht aus Eisengranat, die auf einem einkristallinen Substrat aus Gadolinium-Gallium-Granat hergestellt wird.

Die Eisengranatschicht wird durch einen Ätzprozeß in einzelne „Inseln“

aufgelöst, die eine typische Größe von  $50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$  bis  $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$  besitzen (Bild 1). Jede Insel formt ein Schaltelement für Licht, das senkrecht durch die „Insel“ hindurchläuft. Die Beeinflussung des Lichtes durch die Eisengranatschicht kommt durch die im Material vorhandene Magnetisierung und einen damit verbundenen Faraday-Effekt zustande.

Wegen der besonderen magnetischen Eigenschaften des Materials kann die Magnetisierung – wie bei einem Kernspeicherelement – nur zwei Richtungen einnehmen: entweder parallel oder antiparallel zur Schichtnormalen. Beide Richtungen stehen senkrecht zur Schicht und bilden die beiden Schaltzustände eines Elements. Dabei ist jeder der beiden Schaltzustände, wenn er einmal eingestellt ist, ohne äußere Beeinflussung stabil: Er bleibt gespeichert.

Ein wesentlicher Vorteil der neuen Display-Technik liegt in der Speicherfähigkeit der magneto-optischen Schicht. Jedes eingeschriebene Bild bleibt auch nach Abschalten der Stromversorgung beliebig lange erhalten, solange es nicht bewußt gelöscht wird. Das erzeugte Bild ist daher filmfrei, so daß ein sehr ruhiger und angenehmer Bildeindruck entsteht.

## Der optische Schalteffekt: eine Faraday-Drehung

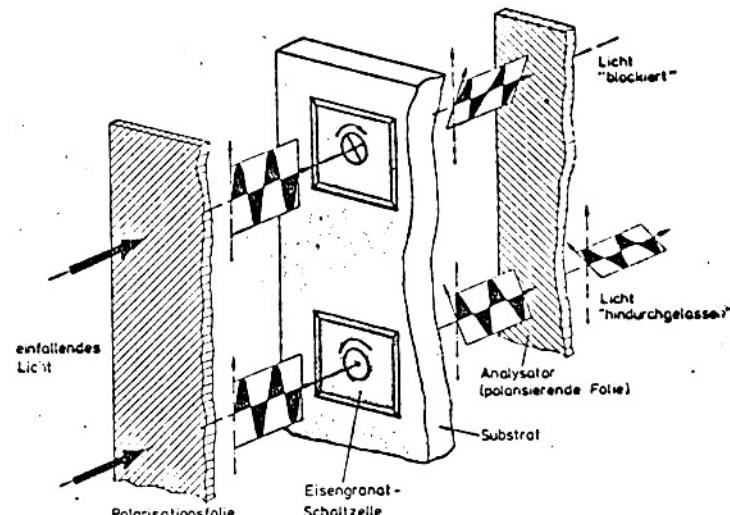


Bild 1. Prinzip der Lichtmodulation mit Eisengranat-Schaltzellen in einer Polarisationsoptik

## Wie man die Magnetisierung umschaltet

Zum Schalten der Magnetisierung von einer in die andere Richtung benutzt man einen thermomagnetischen Schalteffekt. Dieser beruht darauf, daß durch einen in der Eisengranatschicht erzeugten kurzen Wärmeimpuls von nur wenigen Mikrosekunden Dauer die Stabilität der Magnetisierung kurzzeitig absinkt. Erwärmst wird dabei auf ca.  $150^\circ\text{C}$ .

Während dieser instabilen Phase erzeugt man mit einer Spule ein zusätzliches Magnetfeld geeigneter Richtung, das auf die Eisengranatschicht einwirkt. Unter der Wirkung dieses „Schalt“-Magnetfeldes springt die interne Magnetisierung im Schaltelement um. Durch Umkehr der Richtung des äußeren Magnetfeldes der Spule kann mit einem erneuten „Heizpuls“ das Schaltelement wieder in den ursprünglichen Zustand zurückgeschaltet werden.

Der erforderliche kurze Wärmeimpuls kann z. B. mit einem Laserstrahl erzeugt werden, der auf ein Schaltelement fokussiert wird. Bild 2 zeigt als Beispiel die Aufnahme einer magneto-optischen Schicht in einer Polarisationsoptik mit einem Muster, das Punkt für Punkt mit einem Laserstrahl eingeschrieben wurde.

## Aufbau eines magneto-optischen Schaltelements

Wenn der Aufwand mit einem Laserstrahl zu hoch ist, kann auch so verfahren: Die zum Schalten notwendigen Wärmeimpulse werden in den einzelnen Schaltelementen mit Hilfe aufgedampfter Widerstandsschichten erzeugt, über die kurze Stromimpulse geführt werden. Die ohmsche Wärme im Widerstand bewirkt dann die notwendige Aufheizung. Zugeführt werden die Stromimpulse über ein Netz aufgedampfter metallischer Leiterbahnen.

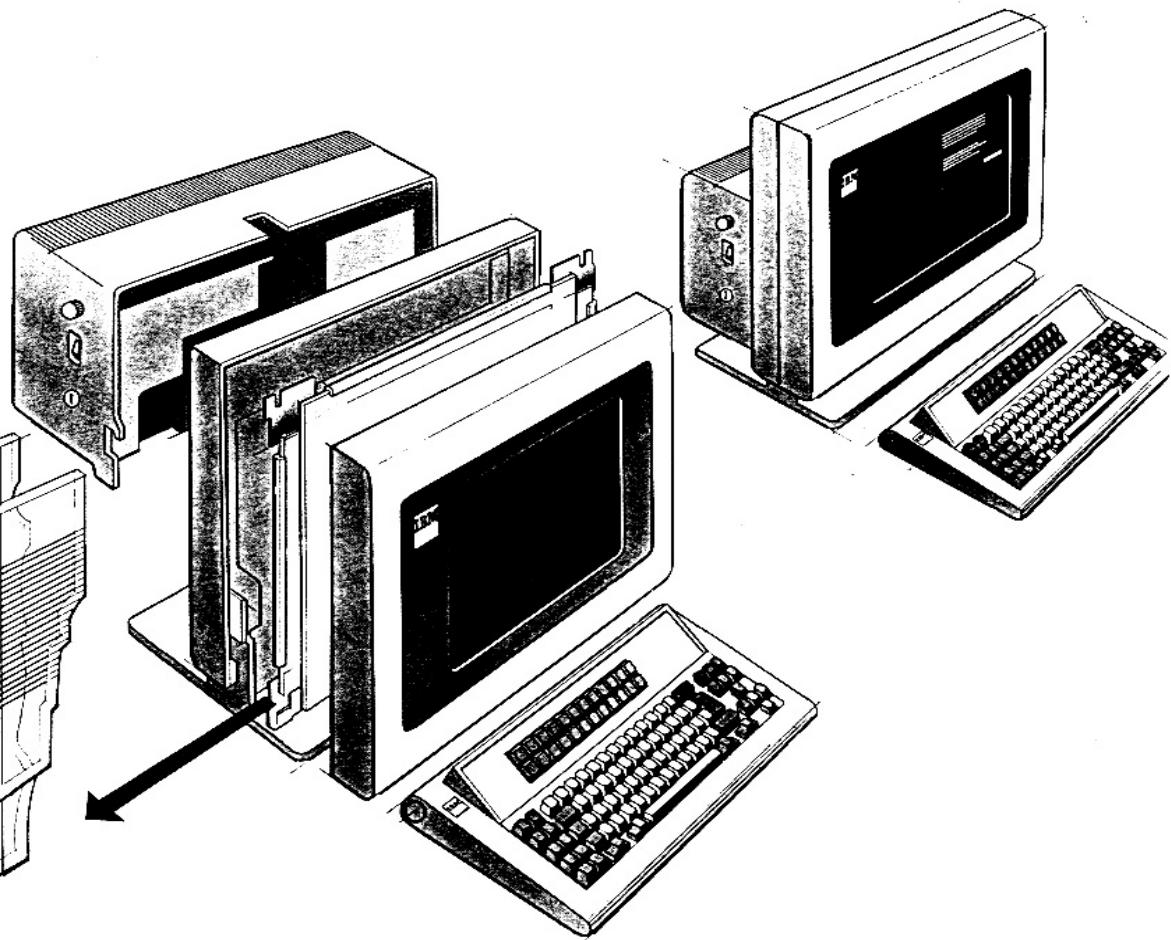
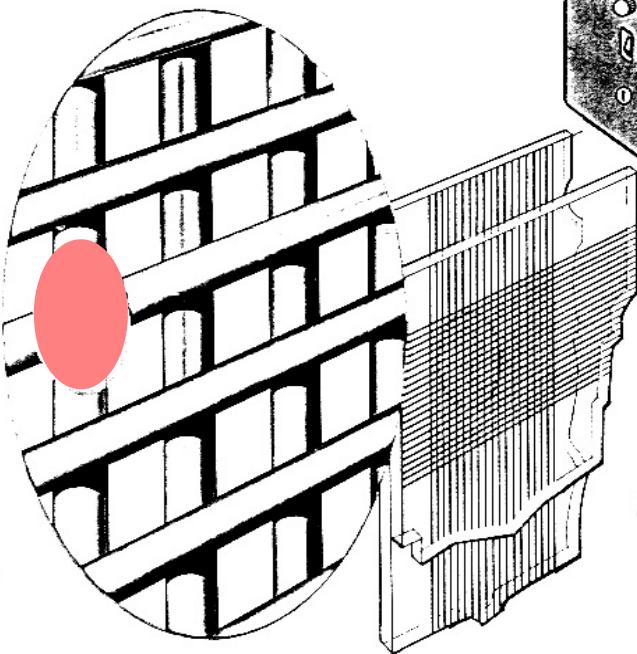
Bild 3 zeigt die Skizze eines derartigen Schaltelementes mit einem kleinen Widerstandselement in der Ecke der Eisengranatinsel. Das notwendige Schaltmagnetfeld wird durch eine sehr einfache „Spule“ erzeugt, die z. B. nur aus einer Windung der Leiterbahnen besteht und durch die ein impulsförmiger Strom geführt wird.

Ein solches Schaltelement kann mehrere tausend Mal pro Sekunde geschaltet werden, wobei der Schaltzustand jeweils durch die Stromrichtung in der Spule bestimmt wird. Die Schaltenergie ist dabei so klein, daß keine wesentliche Erwärmung des Elements auftritt und die Wärmeenergie durch natürliche Wärmeleitung über das Substrat abgeführt wird.

## 4.5.1 Plasmaschirme

### Arbeitsprinzip der Plasma-Leuchtplatte

Als Lichtquelle dient ein ionisiertes Gas (Plasma), das zwischen zwei Glasplatten eingeschlossen ist. Die eine Platte ist von senkrechten Stromleitern durchzogen, die andere von waagerechten. Es ergibt sich also, in der Draufsicht, ein Gitter. Werden ein waagerechter und ein senkrechter Stromleiter unter Spannung gesetzt, leuchtet da, wo sie sich kreuzen, das Gas auf: ein heller, scharf umrissener Punkt. Viele solcher Punkte ergeben ein Zeichen, ein Symbol oder ein Rasterbild. Das Bild ist kontrastreich, gestochen scharf und stabil, in der Mitte wie am Rand. Kein Flimmern, kein Verschwimmen, keine Spiegelung.



## 4.5.2 Plasma, farbig

ntz Bd. 34 (1981) Heft 2

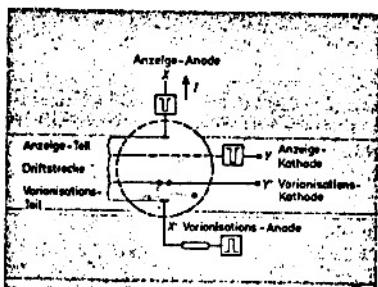


Bild 1. Schematische Darstellung der Elektrodenanordnung einer Rasterzelle

Leuchtstoff	Farbe	Leuchtdichte $B$ in cd/m <sup>2</sup> bei Einstellung		elektrooptischer Wirkungsgrad $\eta_e$ in lm/W bei Einstellung	
		a	b	a	b
Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> : Mn	grün	267	672	2,96	1,83
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : Eu	rot	58	144	0,7	0,46
Y <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> : Ce	blau	45	112	0,8	0,46
—	weiß	160	400	2,0	1,24

Tabelle 1. Leuchtdichte und Wirkungsgrad

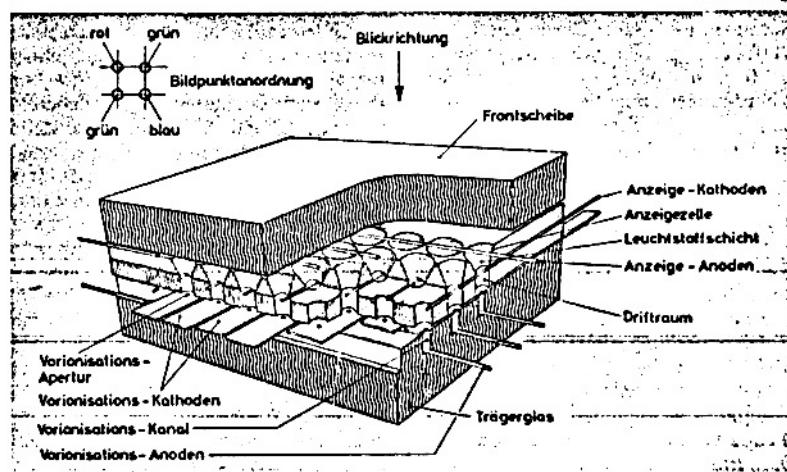


Bild 3. Isometrische Darstellung eines gepulsten Rasteranzelgeschirms

### Aufbau eines DC-PDP-Rasterschirms

Rasterschirme der hier betrachteten Art bestehen nach Bild 2 im wesentlichen aus zwei Teilegruppen, dem **Vorionisationsteil** und dem **Anzeigeteil**. Der (rückwärtige) Vorionisationsteil besteht aus einer 6 mm dicken Floatglasscheibe mit 1 mm tiefen Rillen im Rasterabstand (z. B. 1,5 mm), auf deren Grund die Vorionisationsanoden in Form von CrNi-Drähten mit 0,1 mm Durchmesser angeordnet sind. Auf dieser Rillscheibe liegt, orthogonal zu den Rillen, das ebenfalls in Rastermaß-Distanz angeordnete Streifenleitersystem der CrNiFe-Vorionisationskathoden. Diese Kathoden sind von einer Vielzahl kleiner zylindrischer Öffnungen von ca. 60 µm Durchmesser gekennzeichnet, durch die ein Bruchteil des Vorionisationsstroms in die einzelnen Rasterzellen hineinströmen kann.

Eine Reihe von Rasterschirmen wurde mit Ne-Ar:Hg im mittleren Druckbereich (typisch 250 mbar) gefüllt. Auch wurden Edelgasgemische mit He-Zusatz verwendet.

Typische Baugrößen von hergestellten Plasma-Rasterschirmen sind bei Meßzellen 32 × 32 Pixels im Raster 1 mm (Netto-Abmessung 32 mm × 32 mm, Zellen in Zylinderform), bei Konuszellen 89 × 47 Pixels im Raster 1,5 mm (Konusmaße 0,5 mm / 1,35 mm Durchmesser) sowie bei Großformat-Rasterschirmen 350 × 200 Pixels im Raster 1 mm (Zellen zylindrisch mit 0,5 mm Durchmesser).

Größere Rasterschirme lassen sich dann herstellen, wenn die erforderliche opake (schwarze) Glaskeramik in größeren Formaten von der Glasindustrie zur Verfügung gestellt wird. Auf andere Bauformen von Rasterschirmen, wie Anordnungen mit liegender positiver Säule, Siebdruckausführungen usw., soll hier nicht eingegangen werden.

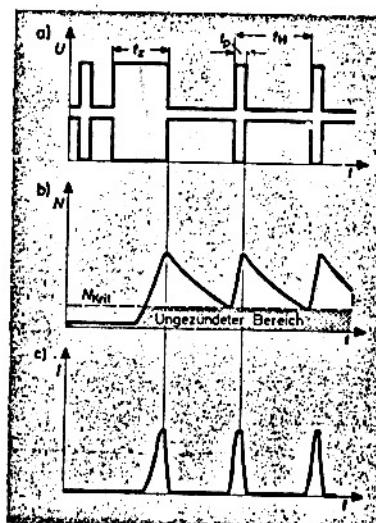
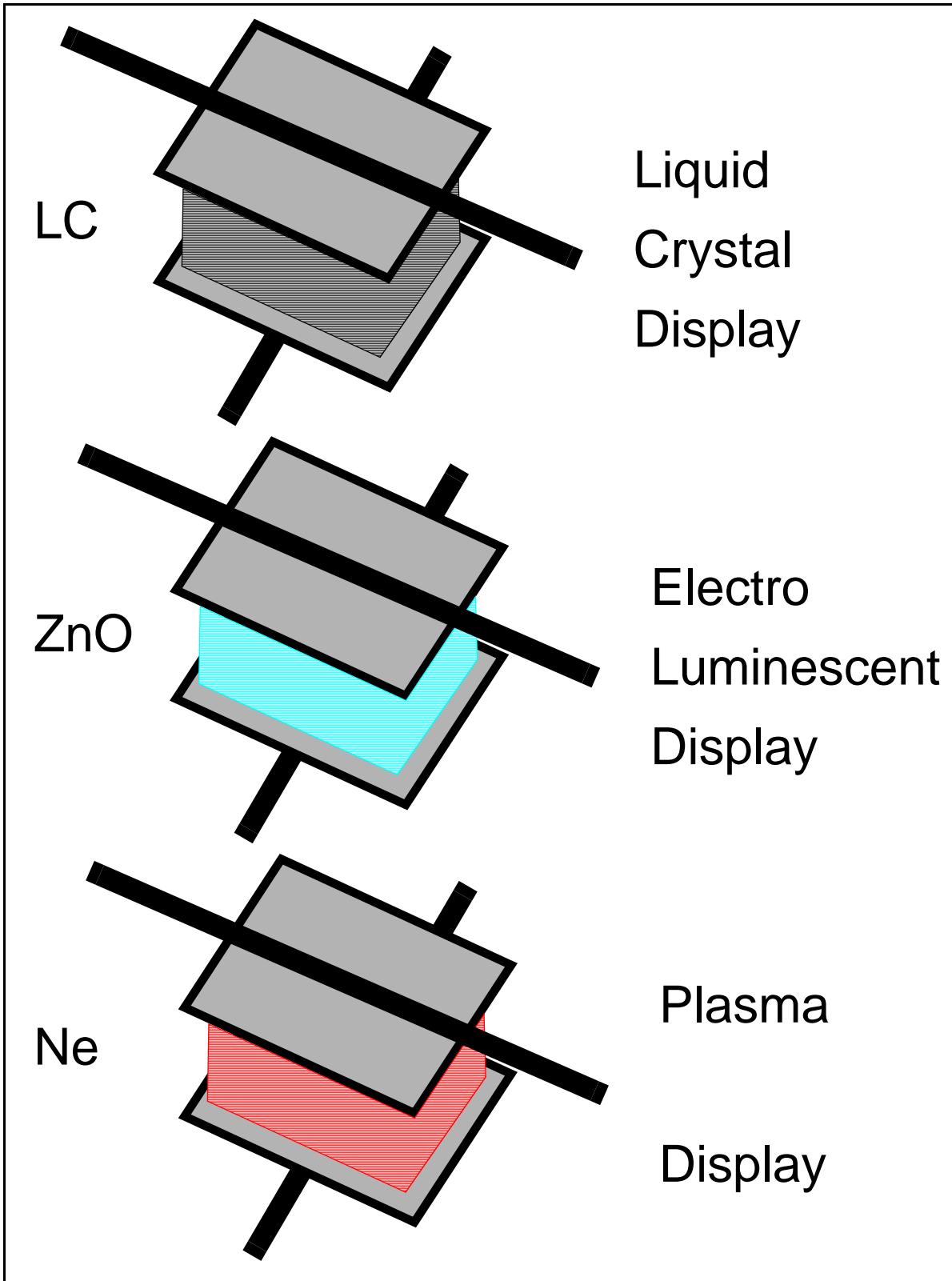


Bild 2. Schematische Darstellung der Steuerimpulse eines Rasteranzelgeschirms:

- a) Steuerimpulsfolge mit Zündimpuls ( $t_z$ ) und Halteimpuls ( $t_h$ )
- b) Zeitlicher Verlauf der Ladungsträgermenge  $N$
- c) Zeitlicher Verlauf des Anzelgestroms  $I$

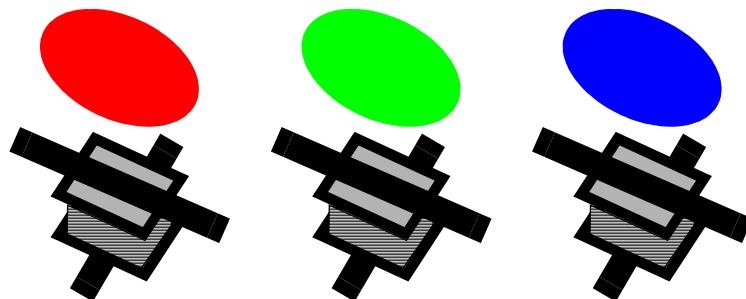
Während der Stromführungszeit entstehen bei der Gasentladung Lichtquanten im UV-, sichtbaren sowie IR-Bereich des Spektrums. Die hier angestrebte Erzeugung von intensiver UV-Strahlung und deren Konversion in sichtbares Licht wird im letzten Kapitel besprochen.

## 4.5.3 Flachbildschirm monochr.



## 4.5.4 Flachbildschirm farbig

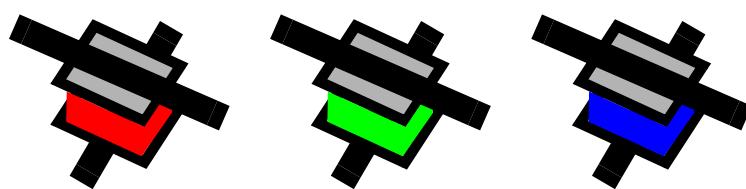
1 Farbfolie je Pixel



Liquid  
Crystal  
Display

Bel. mit Fremdlicht

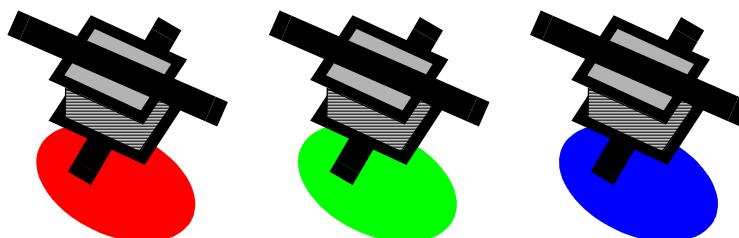
3 versch. Phosphore



Electro  
Luminescent  
Display

Selbstleuchtend

Selbstleuchtend

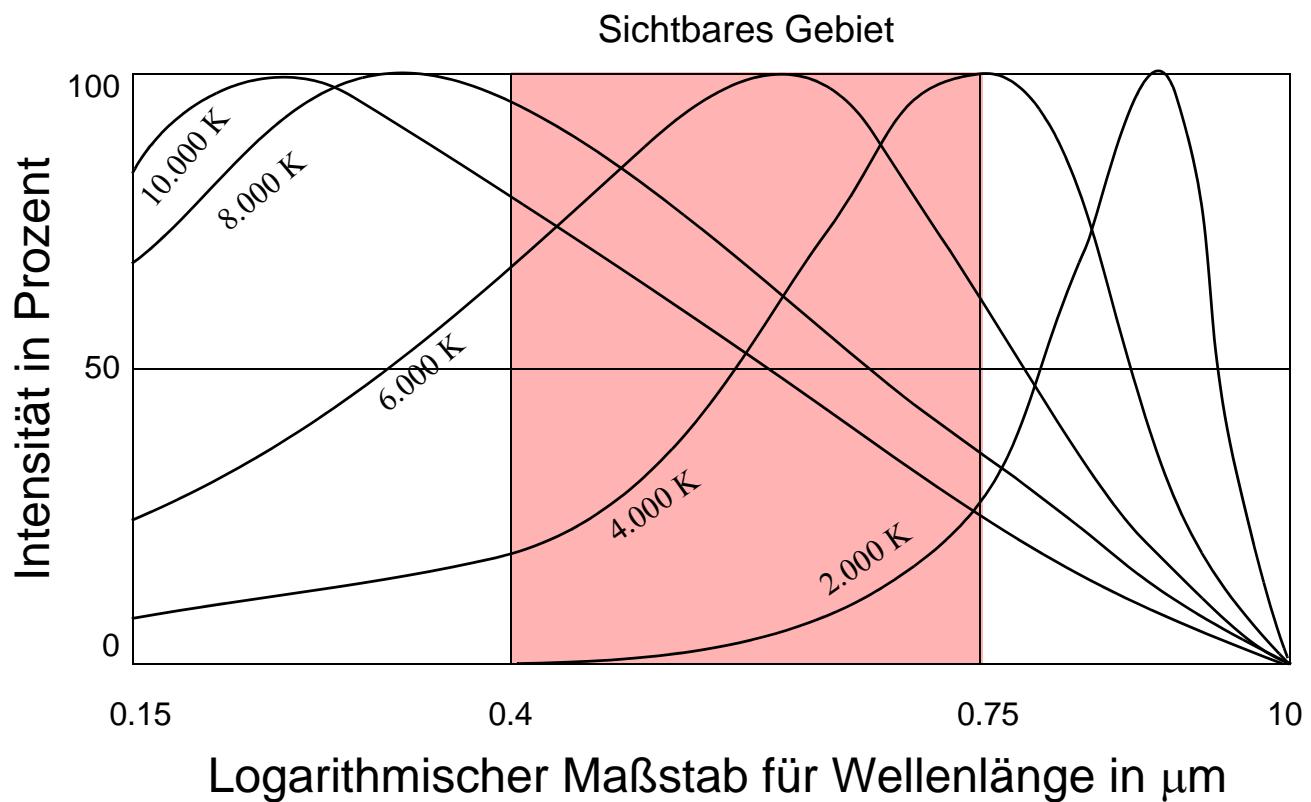


Plasma  
Display

3 versch. Phosphore (+UV)  
in je 1 Grübchen

## 4.5.5 Farbtemperatur

Theoretischer Intensitätsverlauf der Verteilungskurven  
für einen “schwarzen Strahler”

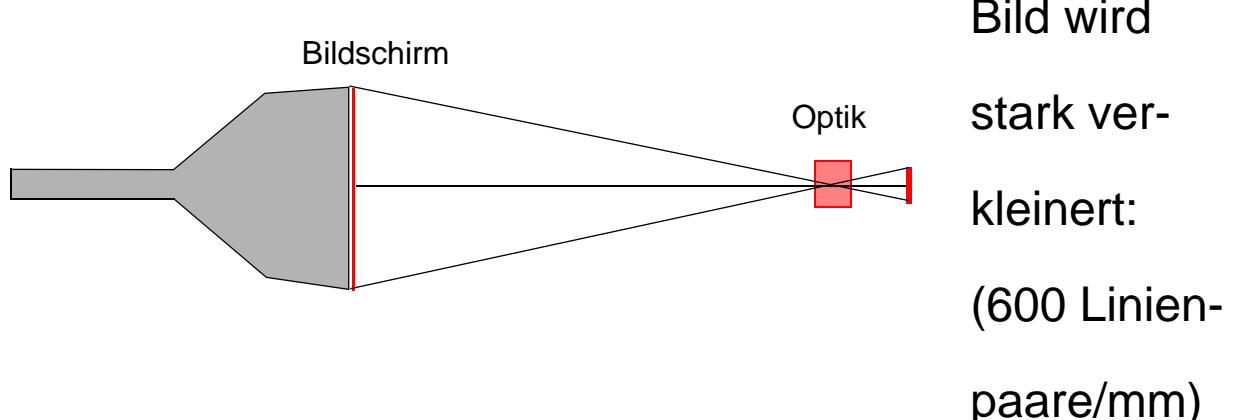


### Einige Beispiele

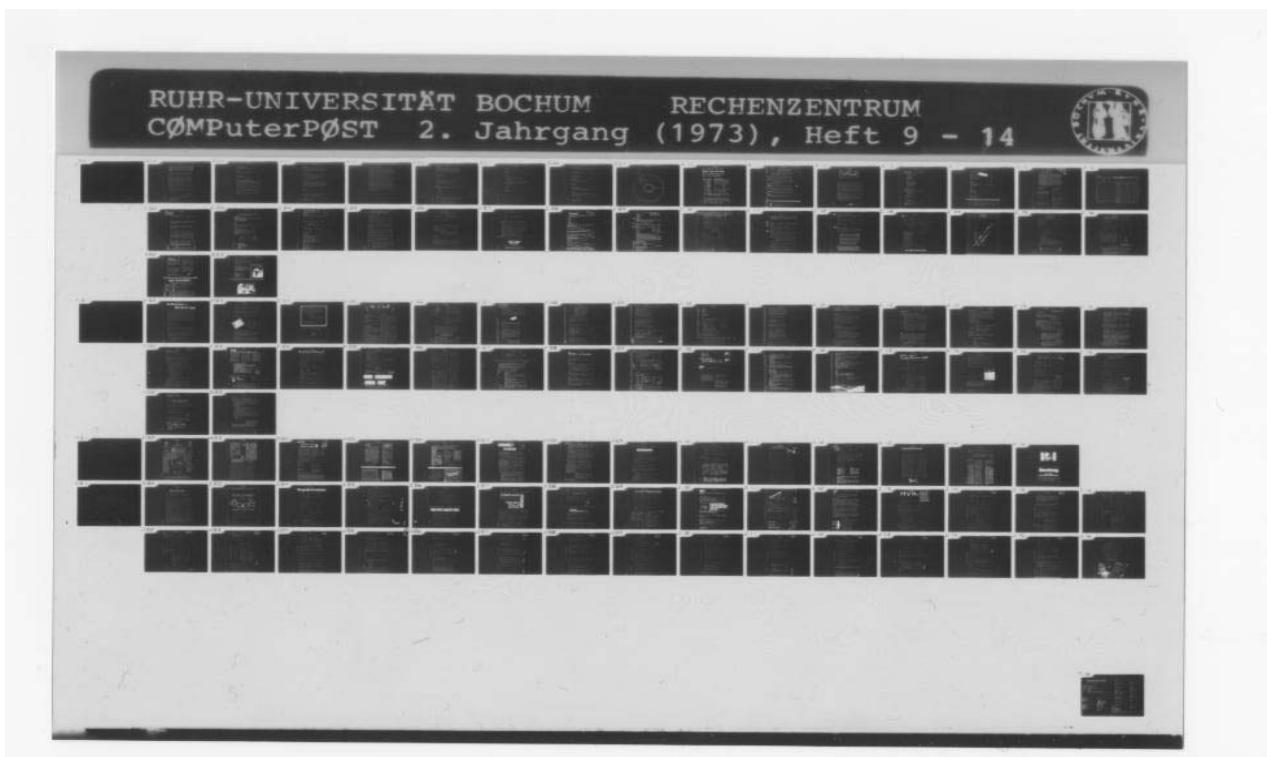
Glühlampe	2.800 K
Mondlicht	4.100 K
Lichtbogen	5.000 K
Sonne (mittags)	5.600 K
Nebel	8.000 K
Blauer Nordhimmel	11.000 K

## 4.6 MicroFiche

### COM (Computer Output on Microfilm)



### Aufbau eines MicroFiches



Referenzliste, Inhaltsverzeichnis o.ä.



## 4.7.1 „Systemanalyse“ der Auflösung

### Im Auge (bezogen auf zweifachen Diagonalabstand)

- Die Zäpfchen besitzen bei konstanten Beleuchtungsbedingungen eine **relative** Empfindlichkeit von etwa 2 Promille, d.h. 8 Bit = 1/256 Änderung je Farbe sind ausreichend
- Das **optische** Auflösungsvermögen des Auges liegt bei etwa 1 Bogenminute, (0,3mm in 1m Entfernung) d.h. Bildschirm mit max. 5000 x 7000 pixel wäre auflösbar (siehe + Datenrate)
- **Physischer** Abstand (Stäbchen/Zäpfchen) etwa 5 Mikrometer (entspricht genau vorigem Punkt)
- **Schätzwerte:** 3 - 4 Millionen Zäpfchen (Farbsehen,eingegrenzter Bereich) ‘ 1.200x1.000x3 pixel, dazu 75 Millionen Stäbchen (Schwarz-Weiß-Sehen) ‘ 10.000x7500 pixel

### Beim Bildschirm

- **Lochmasken** können nur preiswert bis zu Durchmessern von etwa 0.2mm gefertigt werden
- **Nichtlinearitäten** im „Phosphor“, also Relation Elektronenstrom / Helligkeit, d.h. mehr als 8 Bit je Farbkanal sind einfach zu teuer
- **Datenrate** für flimmerfreies Bild (mindestens 50 Hz Bildwiederholfrequenz) bei obiger Pixelzahl und 3x8 Bit je Pixel beträgt 5,25 GByte/sec (im Rechner), je RGB-Kabel 1/3 davon (1,4 GB/sec)

## 4.7.2 Feinbau des Auges

a) Die **Stäbchensehzellen** bestehen aus Stäbchen, Stäbchenkorn (Perikaryon) und Stäbchenfaser (Abb. 114).

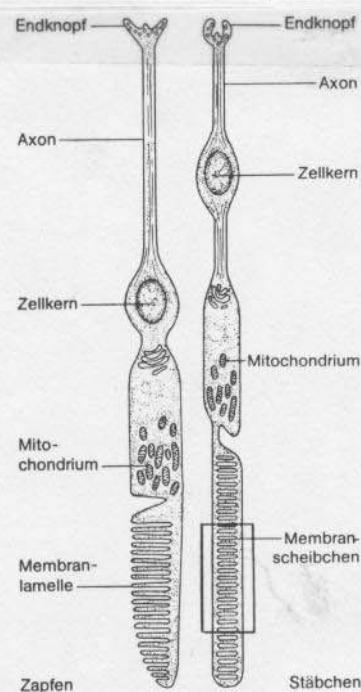
Die **Stäbchen** sind nach außen gekehrte feine zylindrische Gebilde von  $60\text{ }\mu\text{m}$  Länge und  $2\text{ }\mu\text{m}$  Dicke, an denen man noch ein *Außen-* und ein *Innenglied* unterscheiden kann. Im Außen- glied sind zahlreiche quergestellte Protein-Lipid-Doppel- lamellen vorhanden, die durch Einfaltung des Plasmalemma entstanden sind. An ihnen haftet der Sehpurpur (Rhodopsin). Das Innenglied ist das Stoffwechselzentrum der Sehzellen. Es enthält die Zellorganelle. Außen- und Innenglied sind durch eine schmale Plasmabrücke miteinander verbunden, die Mikrotubuli im Muster einer Zilie trägt.

Das **Stäbchenkorn** ist der ellipsoide Kern, der in der äußeren Körnerschicht liegt. Nach innen von ihm geht die Zelle in die dünne **Stäbchenfaser** über, die stellenweise etwas aufgetrieben sein kann und mit einer kleinen knopf- oder keulenförmigen Verdickung endet. Hier befindet sich die synaptische Verbindung zwischen der Sinneszelle und dem peripheren Fortsatz des 2. Neurons der Schbahn. Die Synapsen sind sehr kompliziert gebaut (invaginiert, verzweigt).

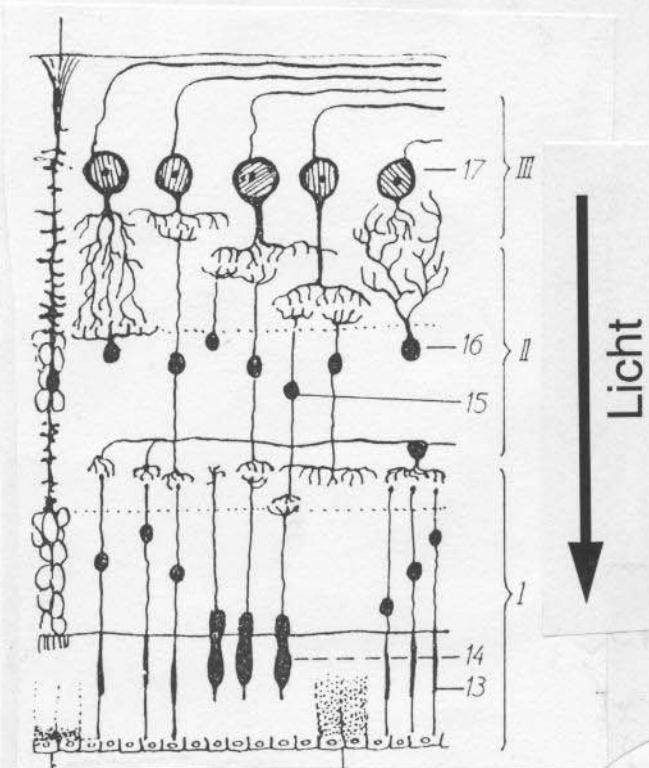
b) Die **Zapfensehzellen** bestehen aus Zapfen, Zapfenkorn und Zapfenfaser. Auch die **Zapfen** sind nach ihrer Form benannte, nach außen gekehrte Bildungen der Sehzellen, an denen wie bei den Stäbchensehzellen ein Außen- und Innenglied vorhanden ist. Die Zapfen sind kürzer als die Stäbchen.

Das **Zapfenkorn** ist der in der äußeren Körnerschicht liegende Kern dieser Art von Sinneszellen.

Die **Zapfenfaser** ist breiter und regelmäßiger gestaltet als die Stäbchenfaser und endet mit einer kegelförmigen Endplatte, die die synaptische Region darstellt (Abb. 113).



### Zum Aufbau



Netzwerk der Synapsen

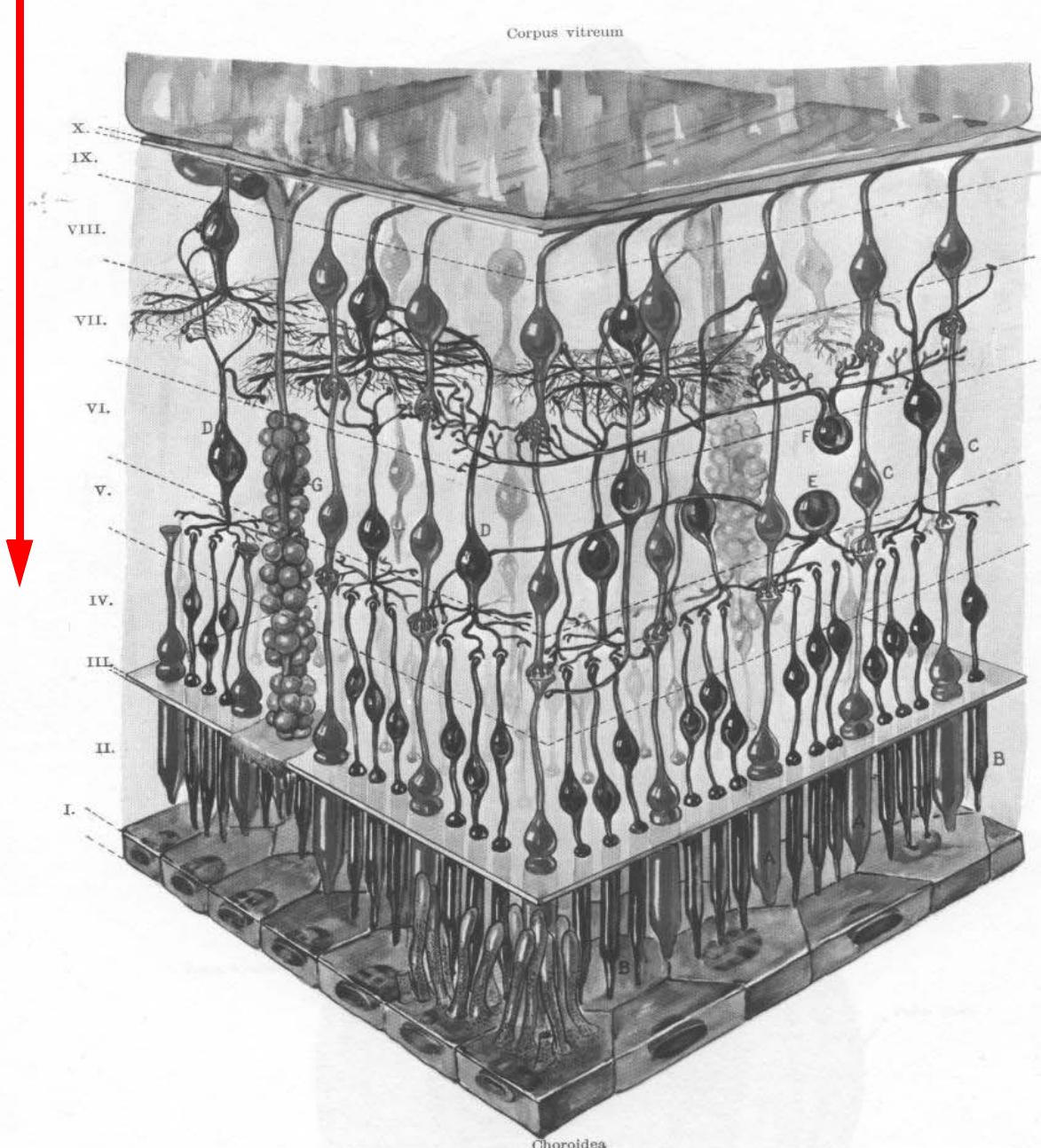
### Feinbau Stäbchen und Zäpfchen



Ausschnitt Stäbchen  
6000-fach vergrößert

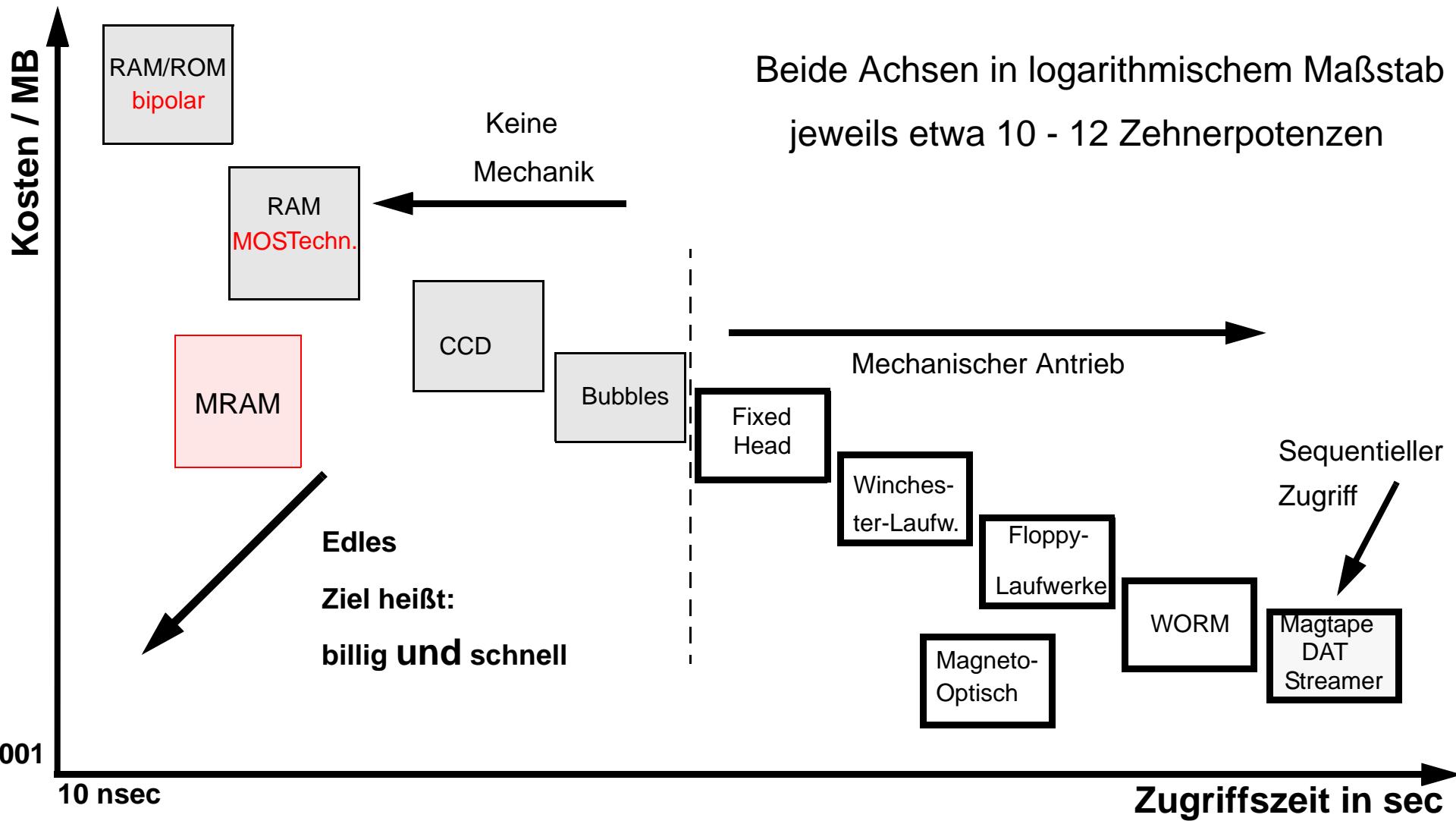
## 4.7.3 Netzhaut-Schnitt

### Lichtstrom

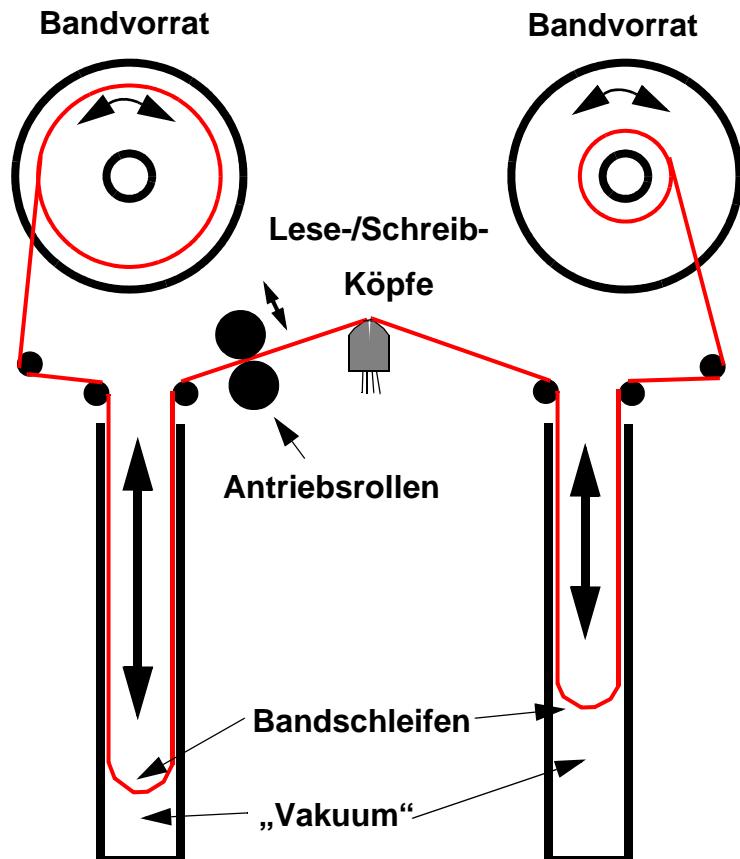


Das Licht kommt von oben in die Netzhaut, daher wird das menschliche Auge auch als **inverses** Auge bezeichnet: Der Lichtstrahl muß durch die gesamte Synapsenschicht bis nach unten (im Bild) vordringen, um dort in den Stäbchen und Zäpfchen einen Lichteindruck hervorzurufen. Die Ableitung des Nervensignals geht nach oben weg über die Oberfläche der Netzhaut (Man beachte auch die Synapsenschaltung unterwegs)

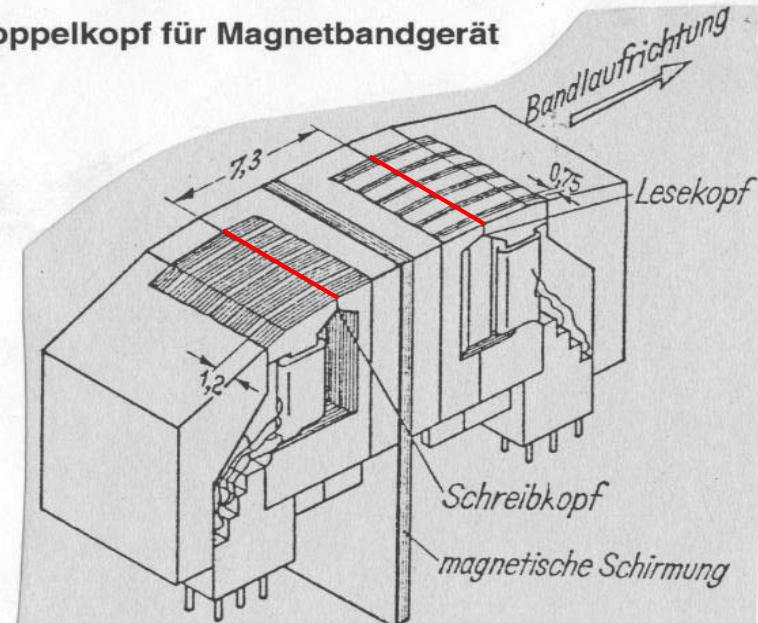
# 5.1 Hierarchisches Speichermodell



## 5.1.1 Magnetbandgeräte



Doppelkopf für Magnetbandgerät



### Wichtige Kenndaten:

**Aufzeichnungsdichte:** 256, 800, 1.600, 6.250 bpi

**Spuren:** 7 (historisch), 9 (z.B. für ASCII)

**Codes:** „IBM“-kompatibel, viele Hersteller-Eigenheiten

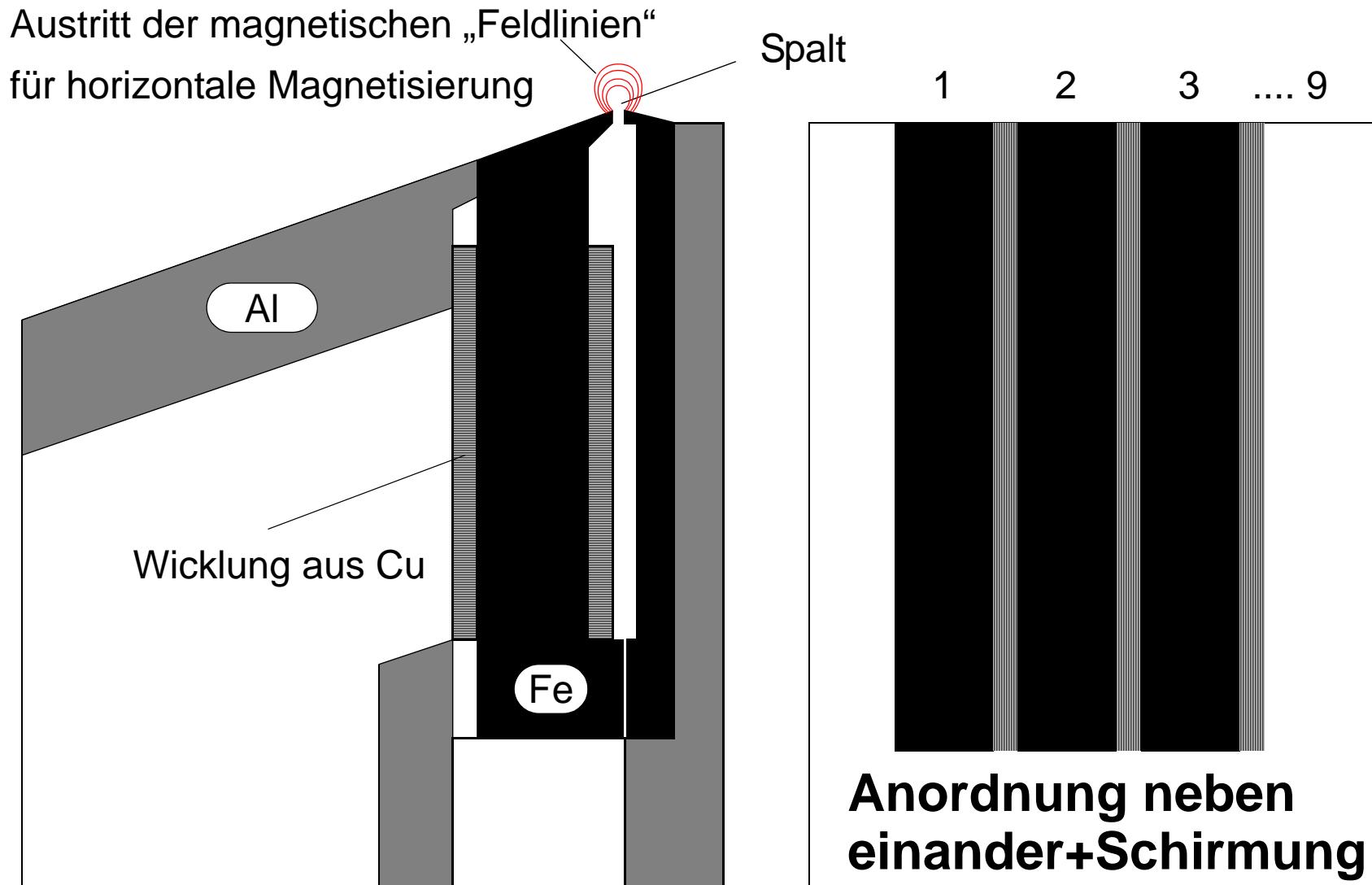
**Lesegeschwindigkeiten:** 100, 300, 700, 1.000 KB/s

**Bandgeschwindigkeiten:** 18, 75 ... 250 ips

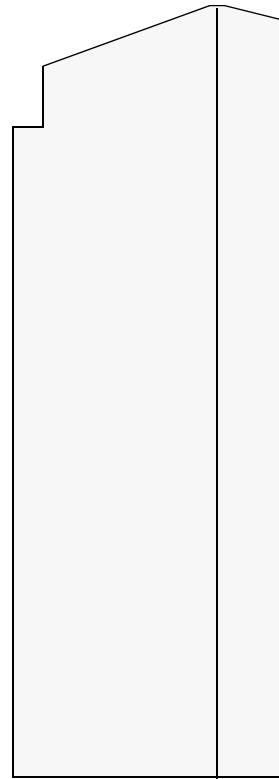
**Vorteile:** Bandmaterial billig, „kompatibel“ für Austausch

**Nachteile:** rein sequentielle Suche, versch. Aufzeichnungsformate

## 5.1.2 Feinaufbau eines Lese- / Schreibkopfs



## 5.1.3 Feinbau Magnetbandkopf



Warum?

Wirbelstromdämpfung in Cu

Magnetischer „Kurzschluß“ in Fe

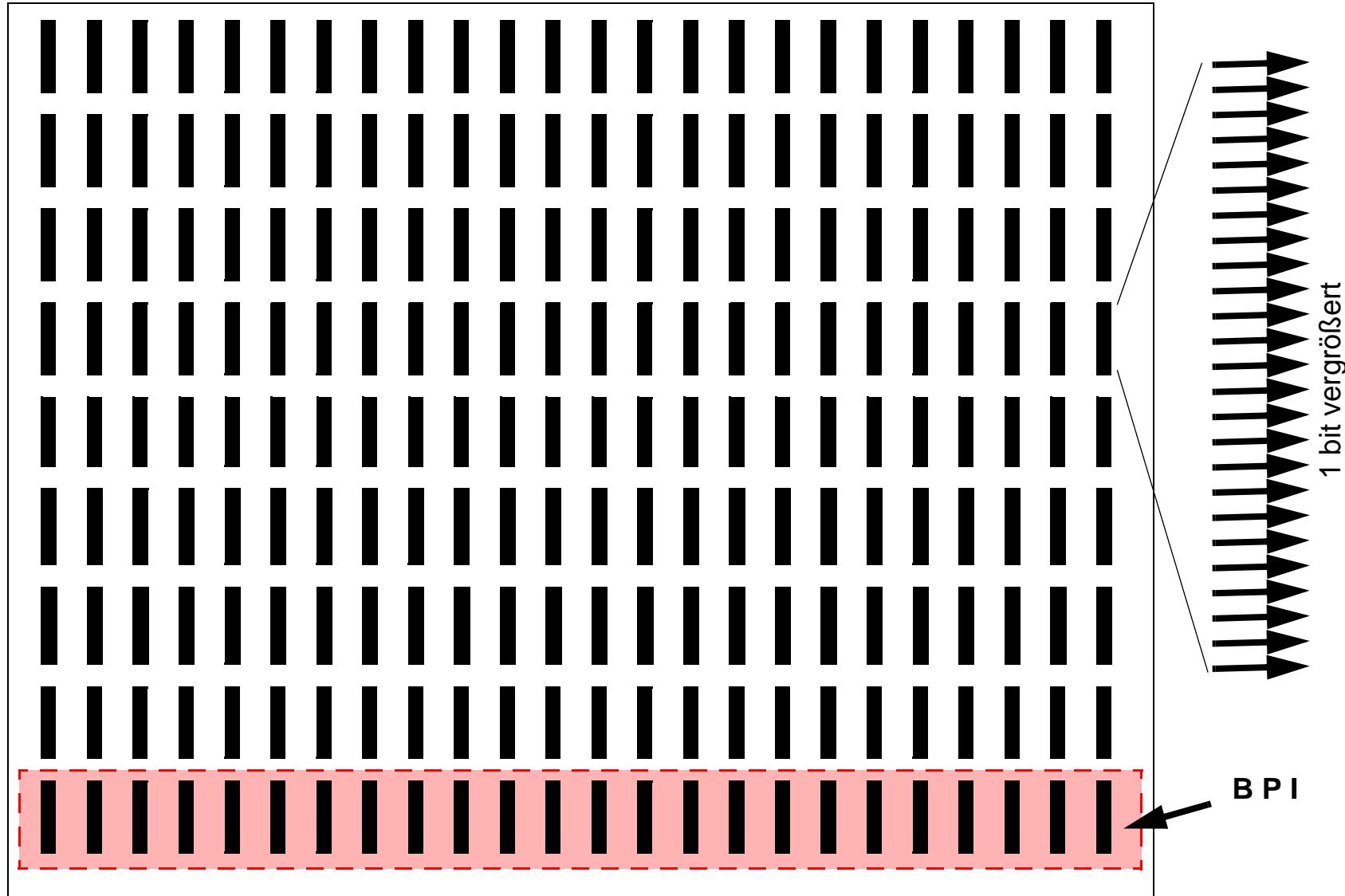
Stichwort: „Übersprechen“ zw.  
den Köpfen

Abschirmungen aus wechselnden Lagen

Cu / Fe / Cu / Fe / Cu (Schreibkopf) bzw.

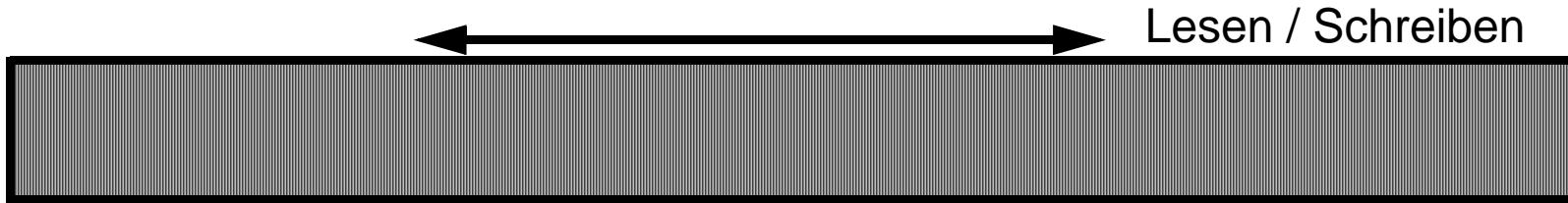
Cu / Fe / Cu beim Lesekopf

## 5.1.4 9 - Spur Magnetband (auch Streamer)

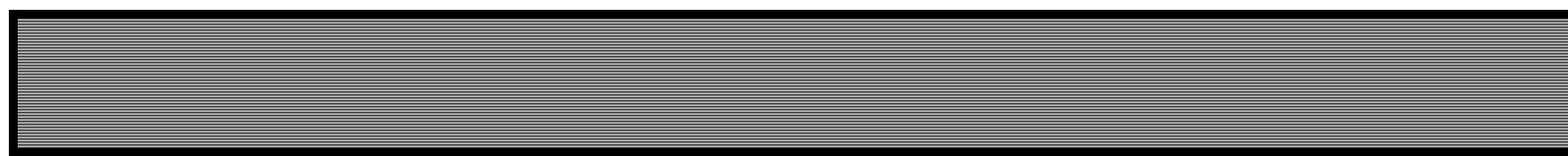


## 5.1.5 Magnetische Aufzeichnungsarten (Tapes)

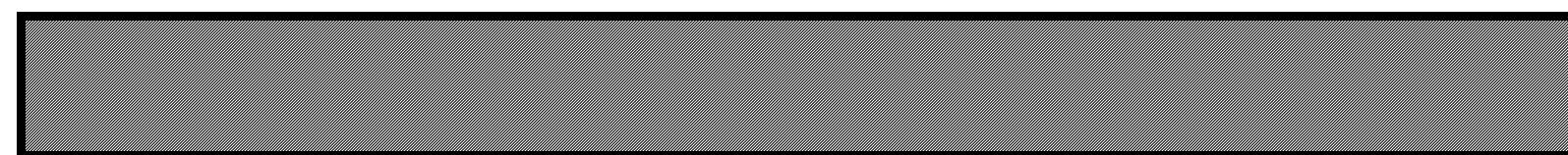
Die Magnetisierungsrichtung liegt bei allen drei unten gegebenen Beispielen immer in der Schichtebene (**horizontale** Magnetisierung). Träger ist meist  $\text{Fe}_2\text{O}_3 * \text{Fe}_3\text{O}_4$  oder  $\text{CrO}_2$



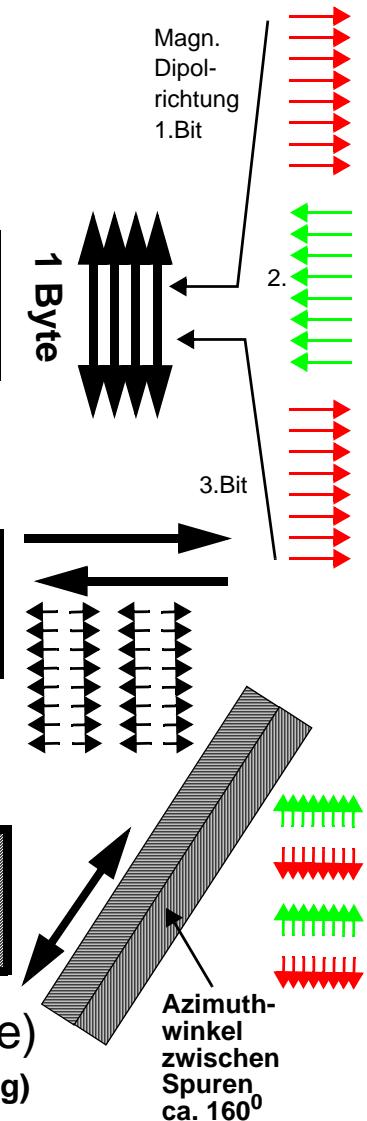
Magnetbandgeräte (Schrebdichte in bit pro inch, obwohl es Bytes sind)



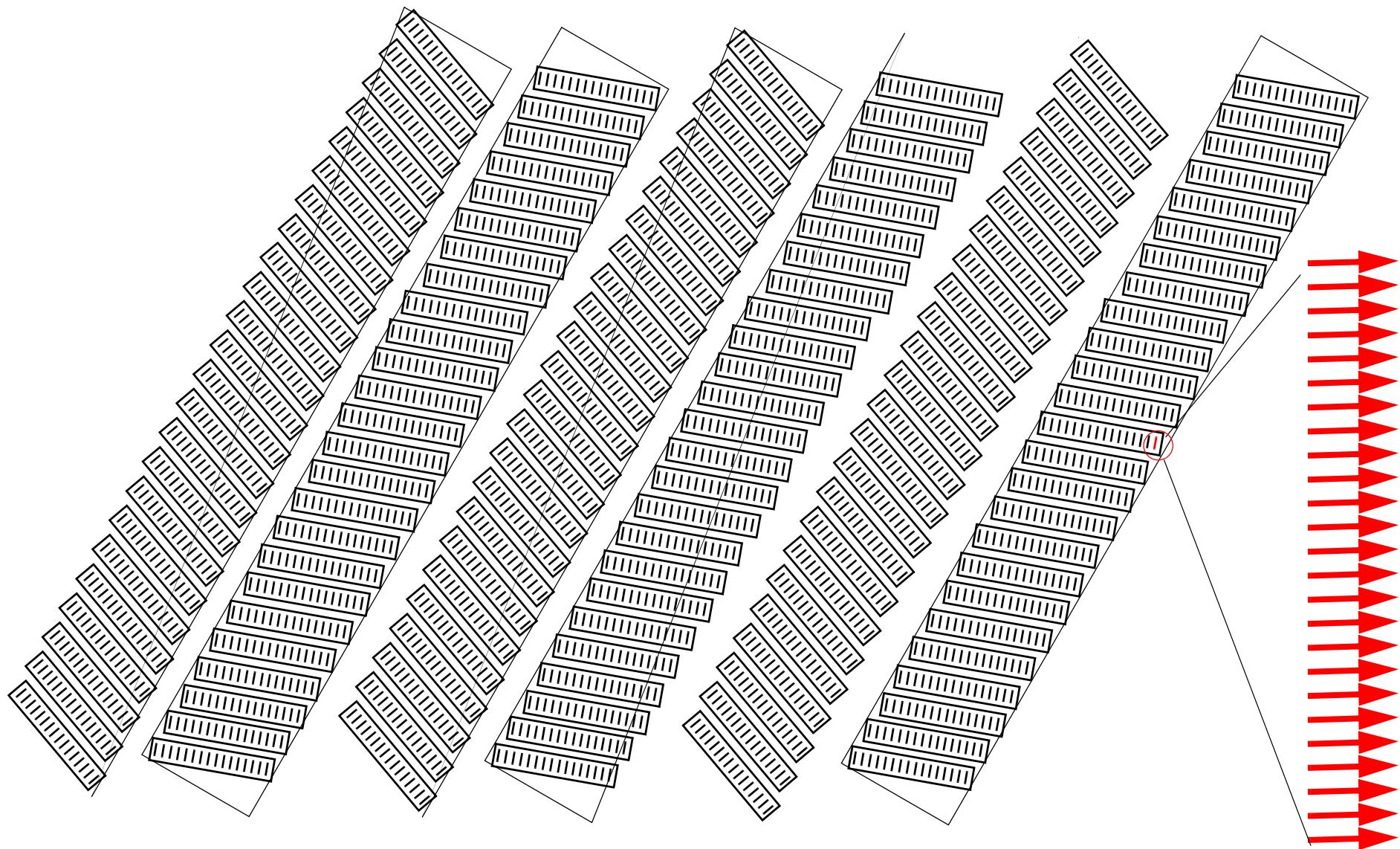
Streamertapes (jeweils eine Spur vorwärts, dann wieder eine Spur zurück)  
+ Vorsicht, stark herstellerabhängige Labels, Startrichtungen, usw.



DAT (helical scan, Schrägaufzeichnung mit rotierendem Kopf, höhere Dichte)  
(Zur Modifikation des Azimuthwinkels + 2Schreib- und 2 Leseköpfe auf dem Umfang + bessere Ausnutzung)



## 5.1.6 Helical-Scan-Aufzeichnung (DAT)



## 5.1.7 Sequentielle magnetische Datenträger

alle Werte ohne Kompression

Geräte-Bezeichnung	Prinzip (Herkunft)	Kapazität [MB]	Datenrate [KB/s]	Länge Datenträger [m]	Zahl der Spuren	Breite Datenträger [mm]
Cassette	Unterh.Elektr.	0.500	50	100	1 - 2	6.1 (1/4")
DEC-Tape	BCD-Code <sup>1</sup>	0.50 - 0.200	10 - 30	100	4	12.2 (1/2")
Magtape	seriell	23 - 180	100 - 1.000	100 - 730	7, 9	12.2 (1/2")
IBM 3480	Vielspur	220	1.000	730	18	12.2 (1/2")
Streamer (QIC) <sup>2</sup>	Mäander	2.500	500 - 2.000	160	1	6.1 (1/4")
Streamer (DLT) <sup>3</sup>	Mäander	20.000	500 - 3.000	50 - 180	1	12.2 (1/2")
DAT (DDS) <sup>4</sup>	Schrägaufz.	8.000	500 - 1.000	90 - 120	1	4
Exabyte	Schrägaufz.	7.000	500 - 1.500	112 - 160	1	8

1 **BCD** = Binary Coded Decimal (abgespeckter HEX)

3 **DLT** = Digital Linear Tape

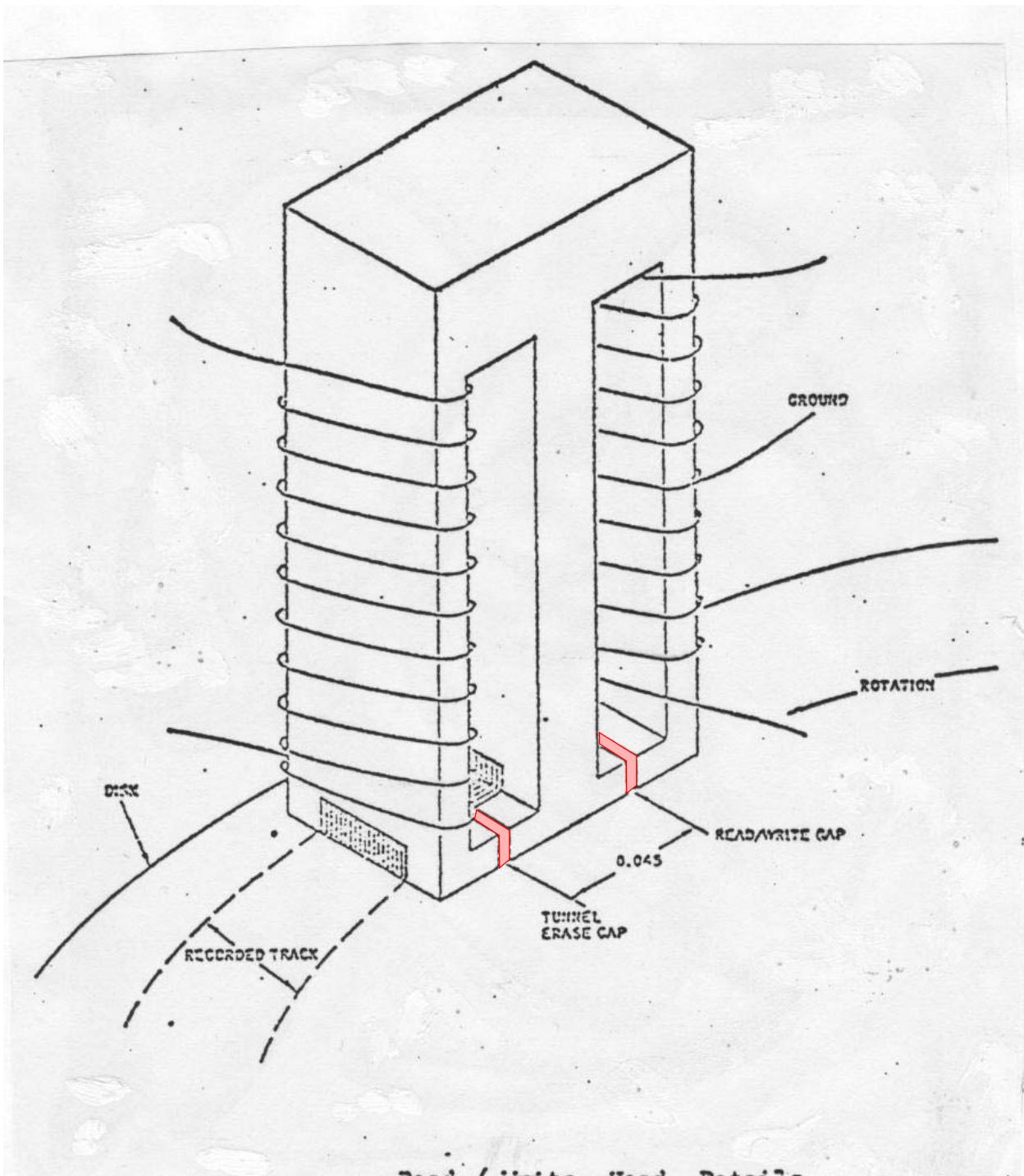
2 **QIC** = Quarter Inch Cartridge

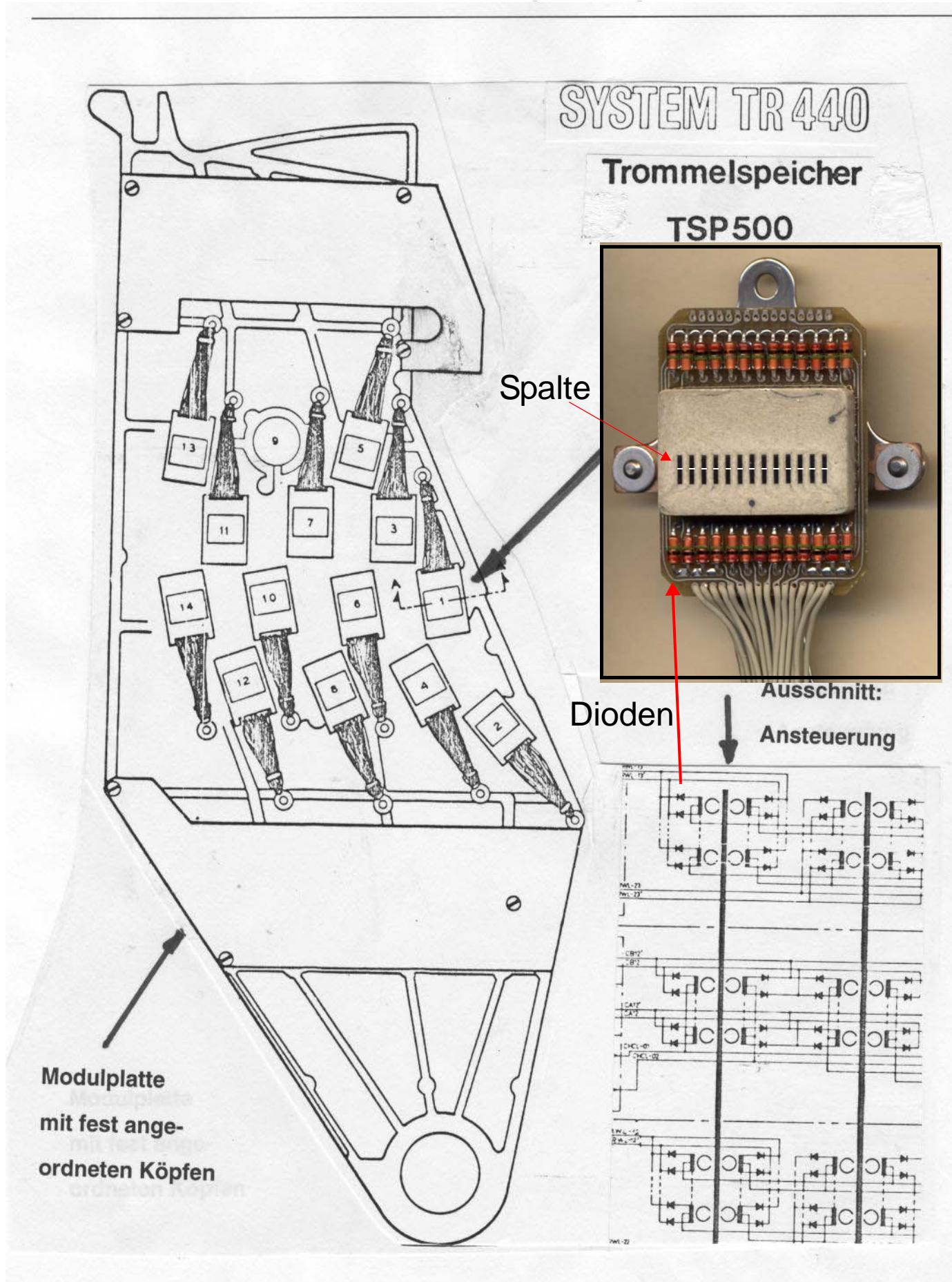
4 **DDS** = Digital Data Storage

## 5.2 „Handarbeit“

Lese- / Schreibkopf einer 25 MB-Platte (ca. 1974),

alles handgewickelt: Man beachte, daß auch hier  
„horizontale“ Magnetisierung vorgenommen wird





## 5.2.2 Trommelspeicher (Abstandsprobleme)

**SYSTEM TR 440**

Prinzip der "fliegenden" Köpfe.

Um eine hohe Bitdichte zu erhalten, ist es notwendig, daß sich die Köpfe in unmittelbarer Nähe des Speichermediums befinden. Die folgende Beschreibung zeigt das Prinzip, das es ermöglicht, die Köpfe bis auf einen ungefähren Abstand von 125 micro-inches = 0,003175 mm an die Platte heranzufahren.

Es ist bekannt, daß eine rotierende Scheibe mit ihrer Oberfläche eine Luftsicht mitreißt und diese Luftsicht als Polster verwendet werden kann, auf dem beispielsweise ein Schreib/Lesekopf schwimmend aufliegen kann. Die Geschwindigkeit und Energie der Luftsicht nimmt linear mit dem Radius der Platte zu. Es kann gezeigt werden, daß der Abstand zwischen Platte und Kopf, der nahe dem äußeren Rand der Platte angebracht ist, größer ist als der Abstand eines Kopfes in der Nähe des Mittelpunktes der Platte.

Um diese abstoßende Wirkung der laminaren Luftsicht zu überwinden, wird ein genau dosierter Gegendruck auf den Kopf ausgeübt. Auf diese Art ist es möglich, den Kopf in einem bestimmten Abstand von der Platte zu positionieren. Zusammen mit einer, für dieses Prinzip geeigneten Lagerung des Kopfes, z.B. auf einer kardanisch wirkenden Feder, kann der Kopf bei der "Landung" auf der Luftsicht (d.h., wenn er an die Platte herangefahren wird), selbstkorrigierende Bewegungen in Bezug auf seine Stellung zur Platte machen. Unter Ausnutzung dieser physikalischen Gegebenheiten kann ein äußerst kleiner Abstand zwischen Kopf und Platte erzielt werden.

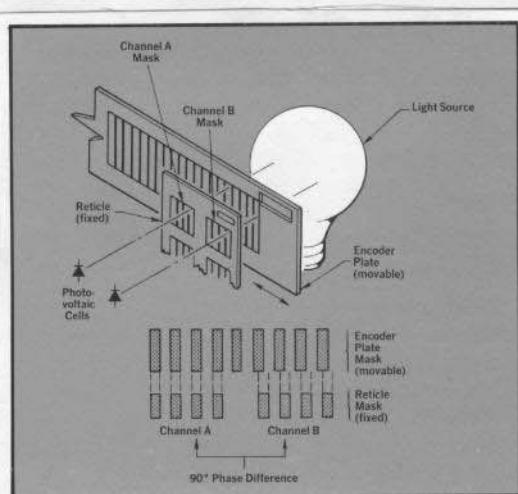
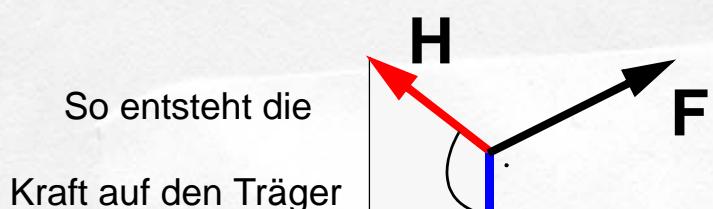
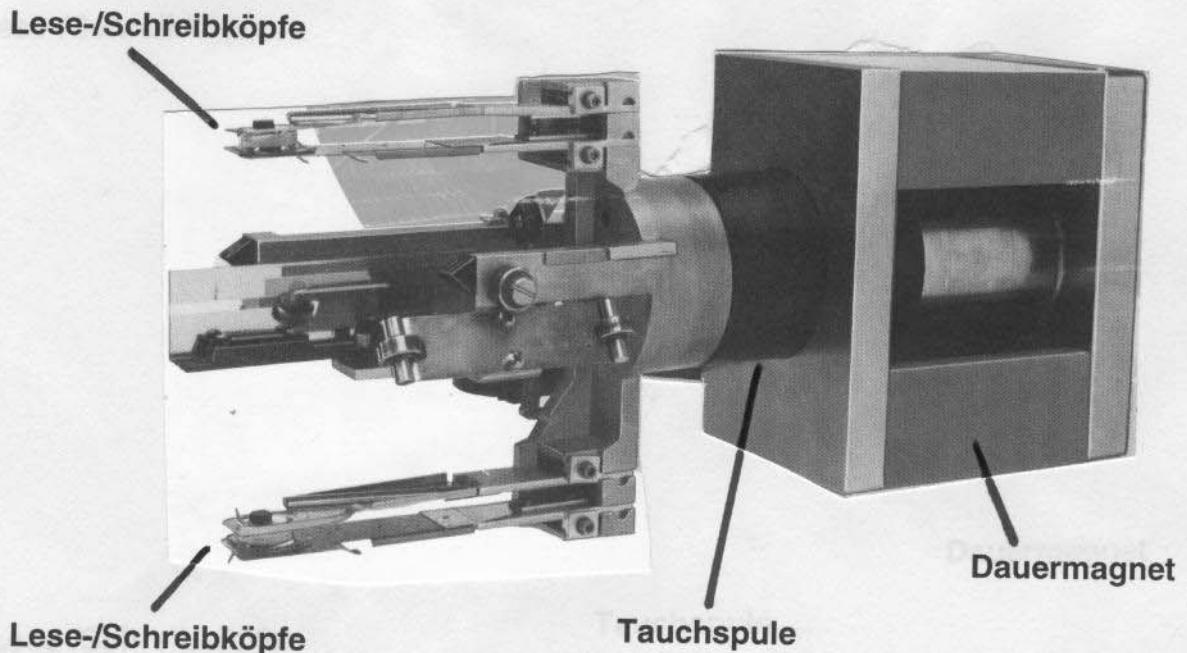
**Trommelspeicher**

**TSP500**

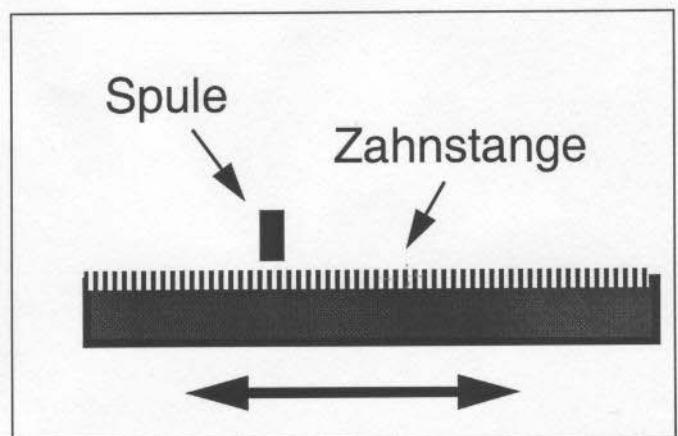
der Luftsicht (d.h., wenn er an die Platte herangefahren wird), selbstkorrigierende Bewegungen in Bezug auf seine Stellung zur Platte machen. Unter Ausnutzung dieser physikalischen Gegebenheiten kann ein äußerst kleiner Abstand zwischen Kopf und Platte erzielt werden.

Die angestrebten Abstände zwischen Kopf und Platte sind aber nicht einfach dadurch zu erreichen, daß man einen Kopf recht nahe bei einer Platte anordnet. Im Gegenteil, die Beschaffenheit der Platte muß in engen Toleranzen gehalten werden, damit Turbulenzen in der laminaren Luftsicht vermieden werden. Der Kopf muß eine aerodynamisch günstige Form und Beschaffenheit der Oberfläche haben, damit dieser selbst parallel zur Plattenoberfläche "fliegen" kann. Er muß auf deren laminaren Luftstrom aufliegen können, ohne zu flattern und ohne Turbulenzen zu erzeugen. Eine Fase an einer Kopfkante gibt diesem seine "Flugeigenschaften". Der Winkel der Fase ist kleiner als 1 Grad, und die gefaste Kante ist zur Luftströmung hin gerichtet.

## 5.2.3 Linearmotor

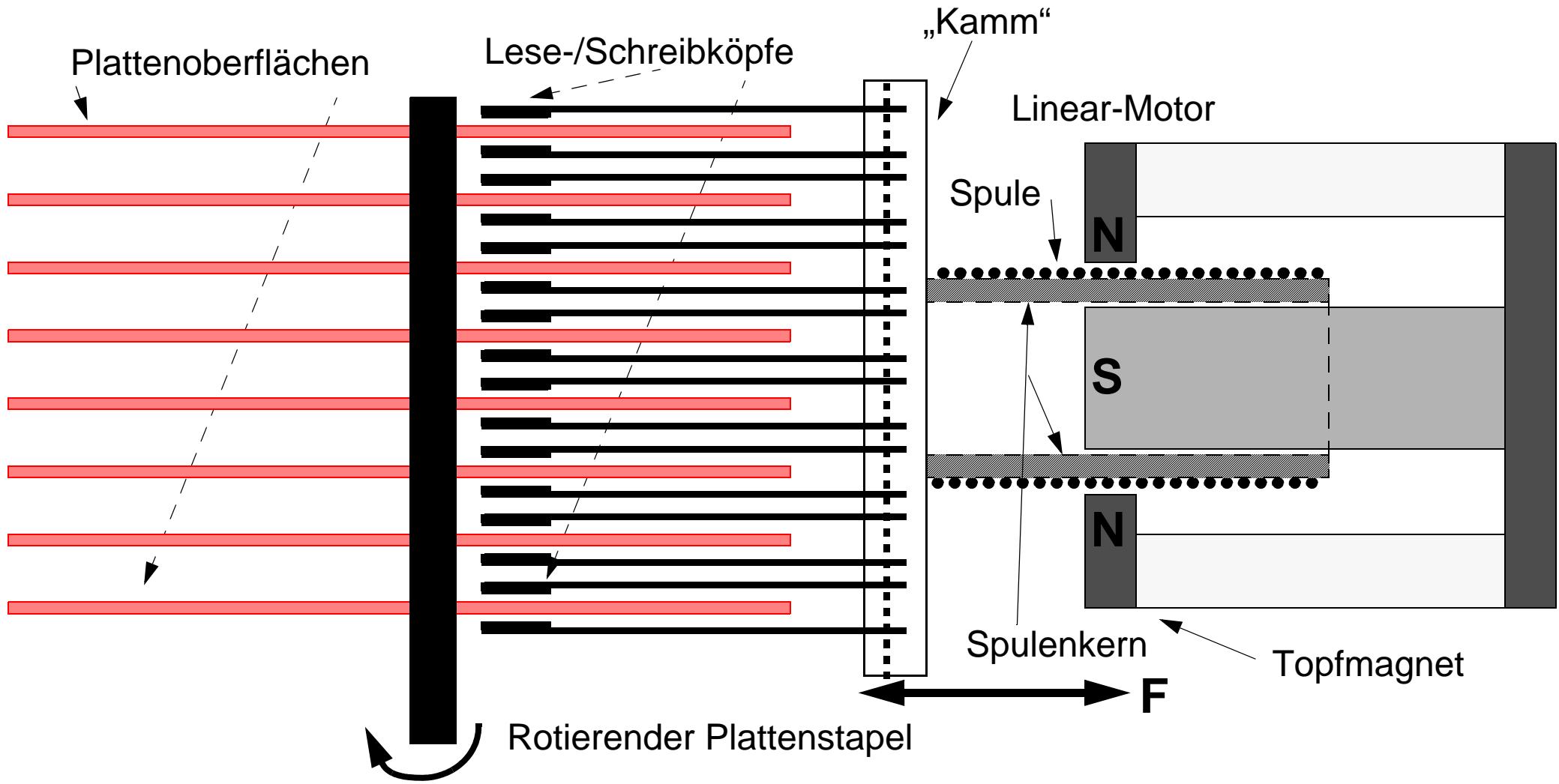


Optischer Encoder (Moiré-Effekt)



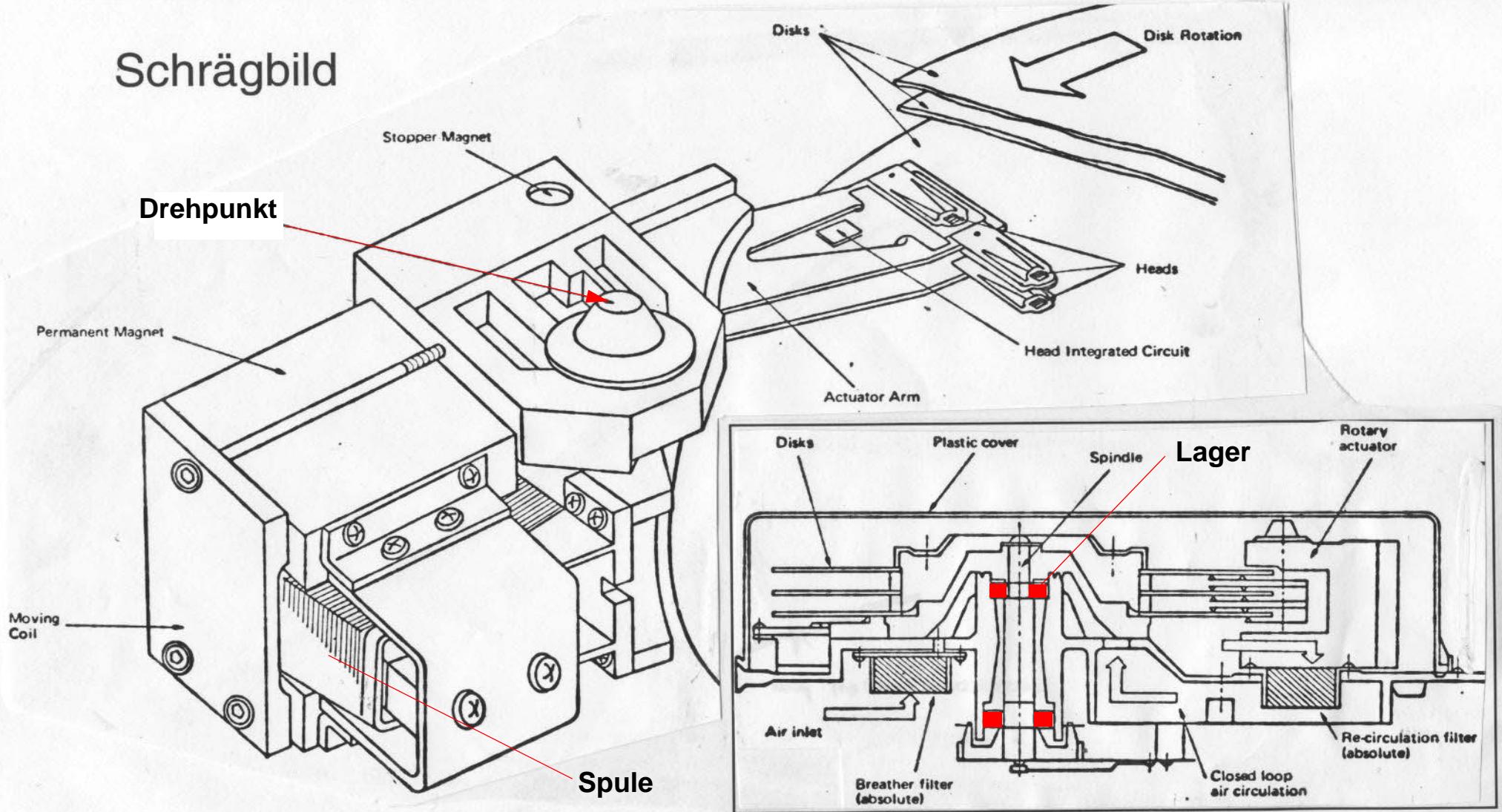
Magnetischer Encoder

## 5.2.4 Aufbau eines Plattenspeichers (Schnitt)



## 5.2.5 Moving Coil

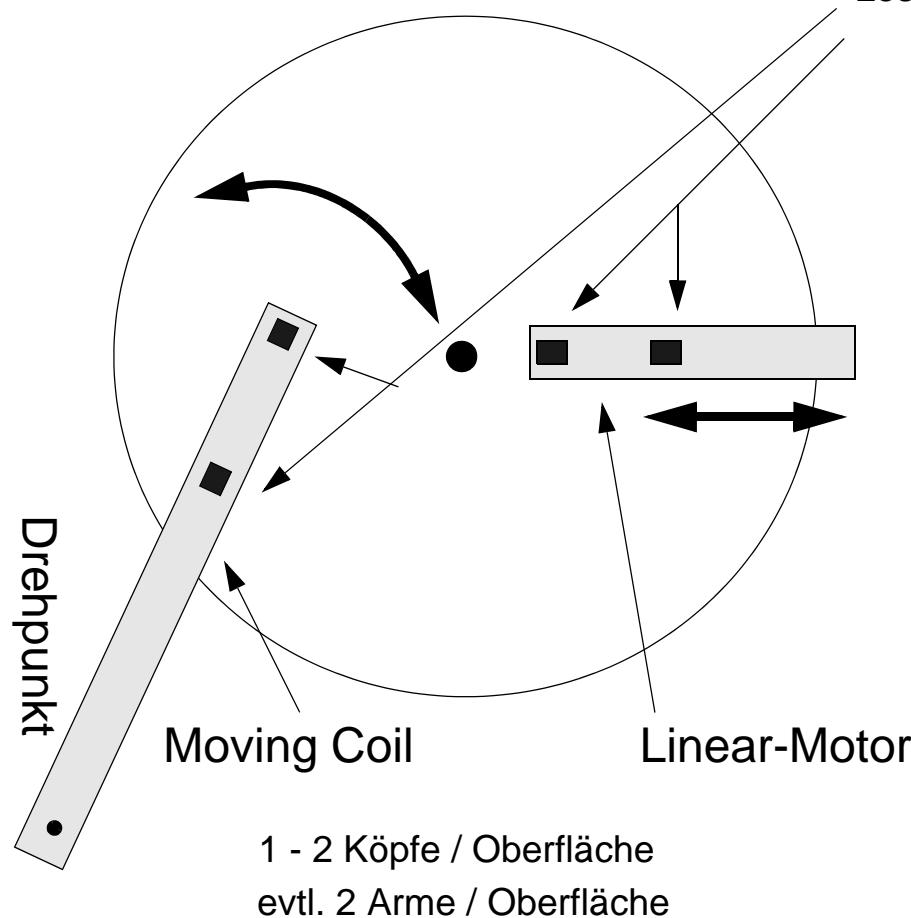
Schrägbild



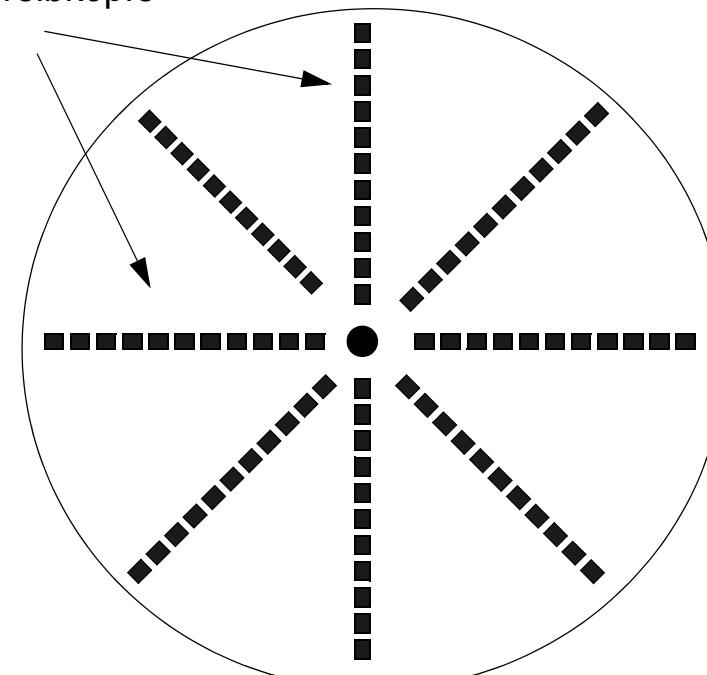
Schnitt durch das Gehäuse

## 5.2.6 Zugriffsoptimierung bei Plattspeichern

### Moving Head Disk



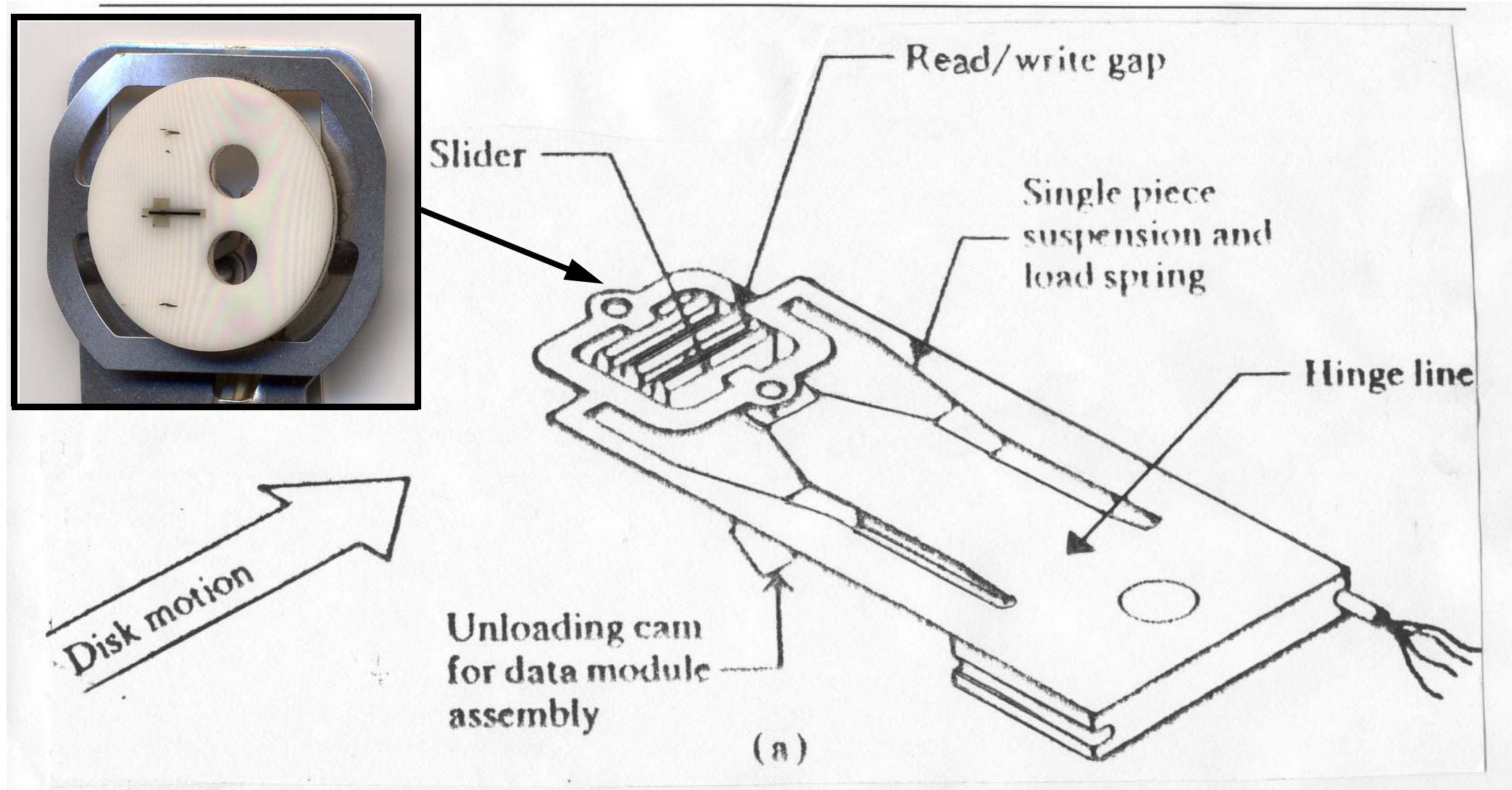
### Fixed Head Disk



**Erste Optimierungsstufe: 1 Kopf / Spur**

Zweite Optimierungsstufe: N Köpfe / Spur (1/N Zugr.zeit)  
(Anbringung an „strategisch günstigen Orten“)

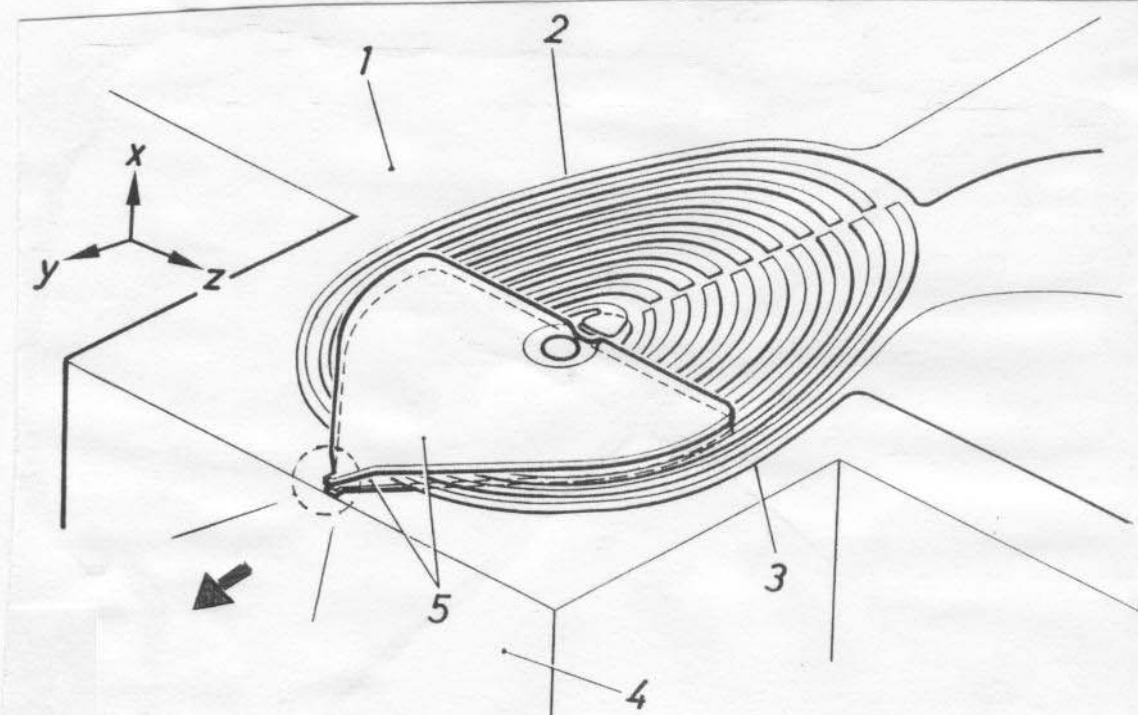
## 5.2.7 Lese- / Schreibköpfe



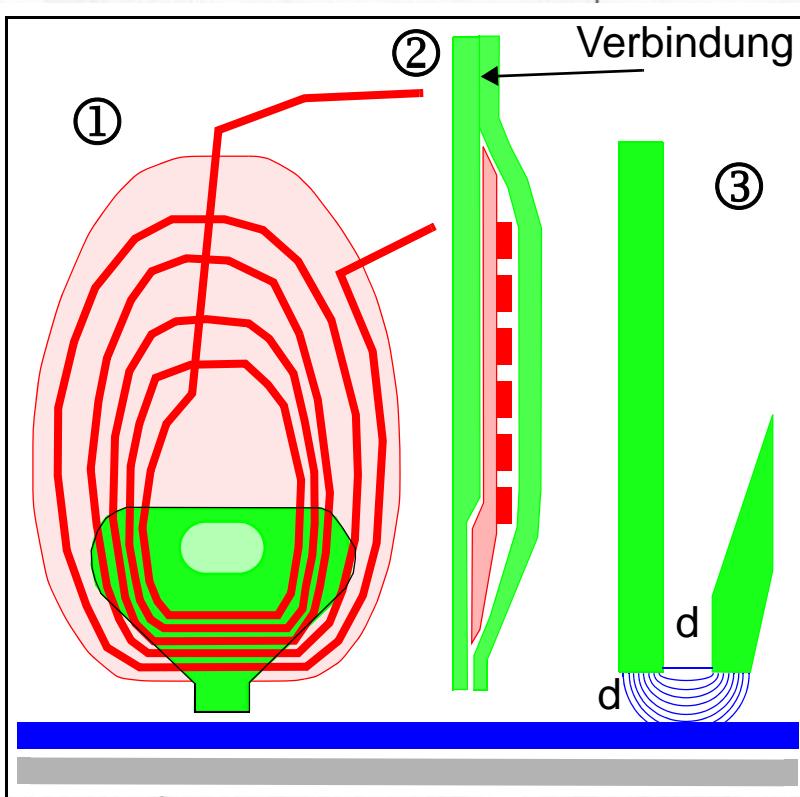
## 5.2.8 Dünnfilmköpfe 1

### Prinzipieller Aufbau eines am Gleiter montierten DFK

1 = Substrat, 2 = Obere Kupfer-Windung, 3 = Untere Kupfer-Windung,  
4 = Gleiter-Oberfläche, 5 = Permalloy-Deckschicht (NiFe oder CoZr)

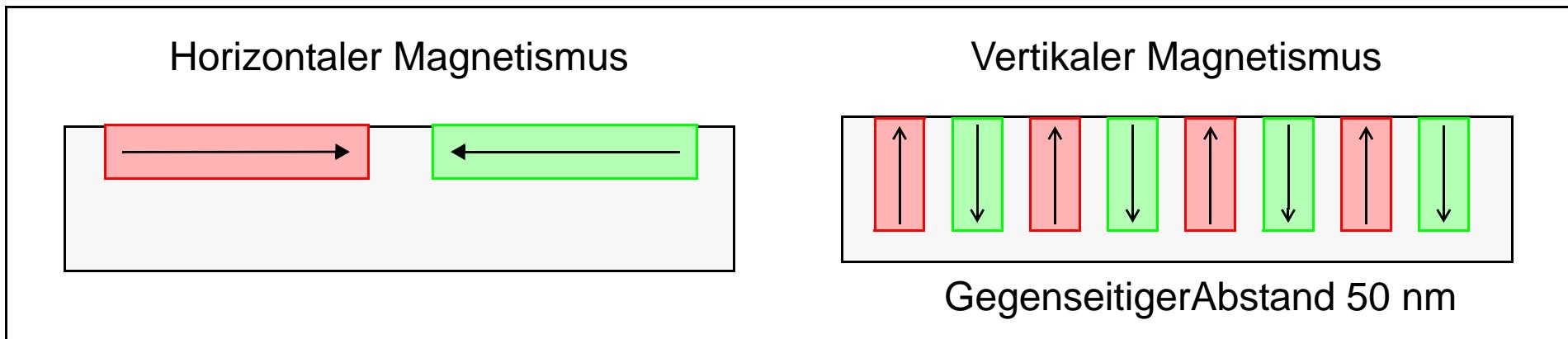
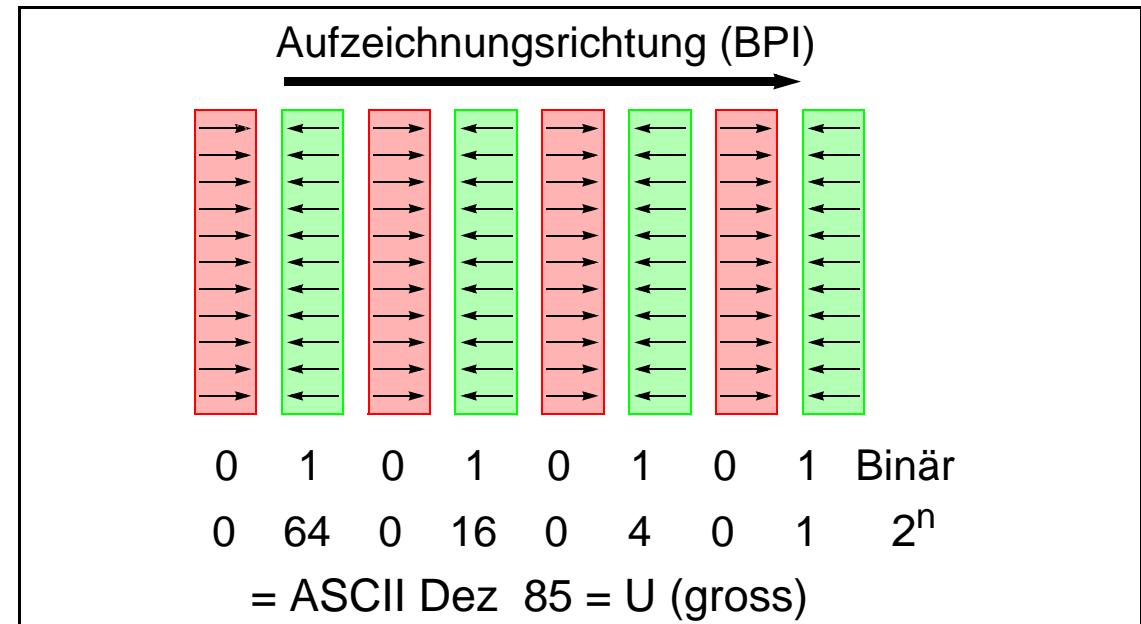
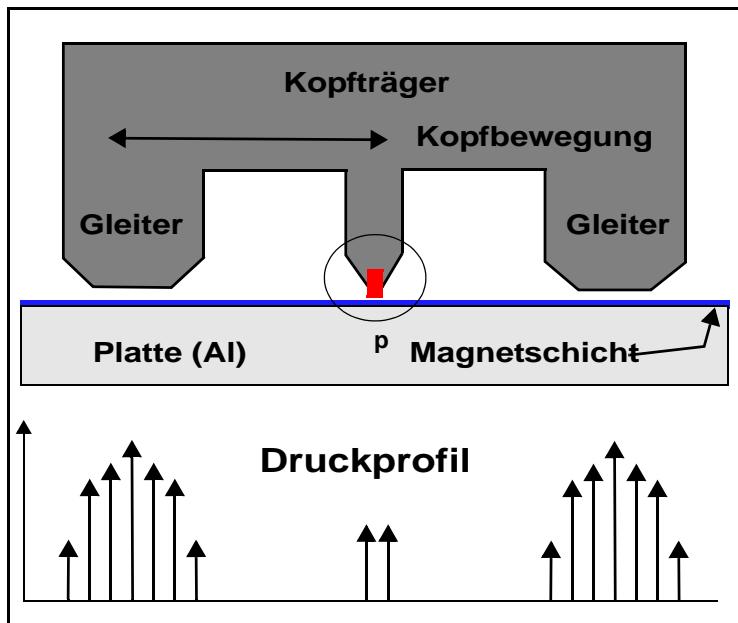


Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Ber. Bd. 16 (1987) Nr. 6



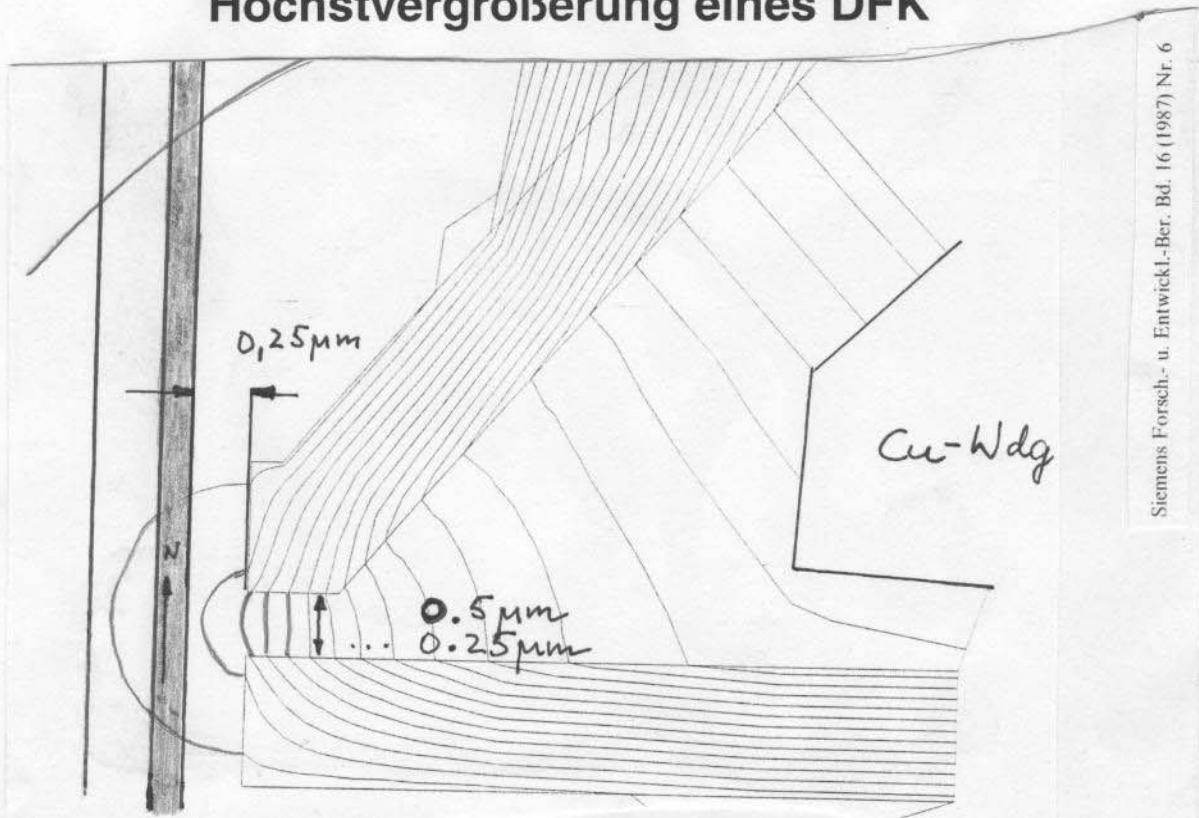
Längs-/Querschnitt durch  
einen Dünnfilmkopf

## 5.2.9 Dünnfilmköpfe 2

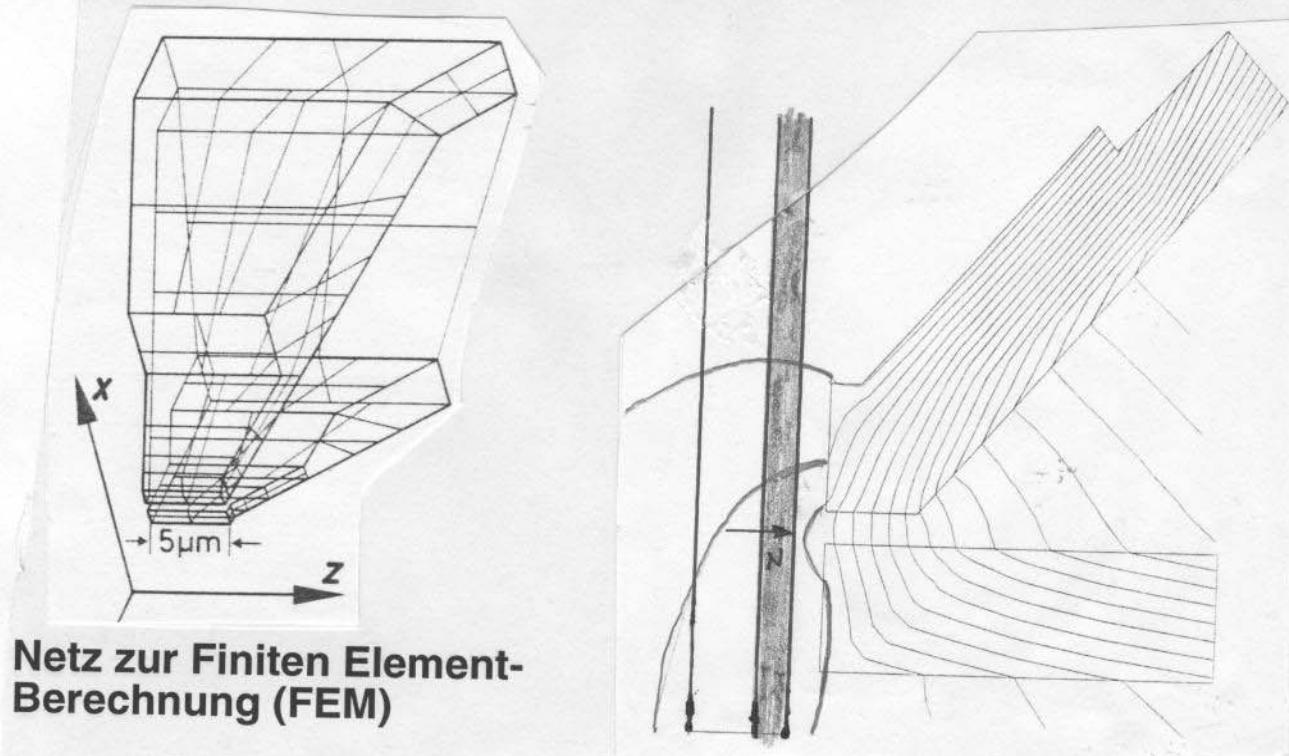


## 5.2.10 Dünnfilmköpfe 3

### Höchstvergrößerung eines DFK



**Horizontale (oben) und Vertikale Magnetisierung (unten)**



## 5.2.11 Dünnfilmköpfe 4

### Einige Kennwerte für DFK (Stand 1994)

- **Köpfe:**

- Normalerweise 2 je Oberfläche
- Abheben und Fliegen durch Rotation des Plattenstapels
- Schnellbremsung zur „Landung“, kein „Head Crash“
- Permalloy (Ni-Fe) als magnetischer Leiter
- Spulen (ein- oder zweilagig) aus aufgedampftem Kupfer (Cu)

- **Gleiter:**

- Keramik
- Krümmungsradius: ca. 15m
- Relativ-Geschwindigkeit zw. Kopf und Platte: ca. 260 km/h

- **Abstand** Kopf-Plattenoberfläche: 0.33 Mikrometer

- **Anpresskraft** Kopf/Platte: 0.2 Newton (20g)

- **Drehzahl** Plattenstapel: 3000 - 3600 U/min

- **Plattendurchmesser:** 3...14 Zoll

- **Schreibdichte:** 12.134 bpi (Bits/Zoll)

- **Spurdichte:** 625 Spuren/Zoll

- **Positionierung:** Voice coil

- **Sektorierung:** Soft ‘ Servospuren (eine Oberfläche reserviert)

- **Datentransfer-Rate:** 1 - 4 MB / sec

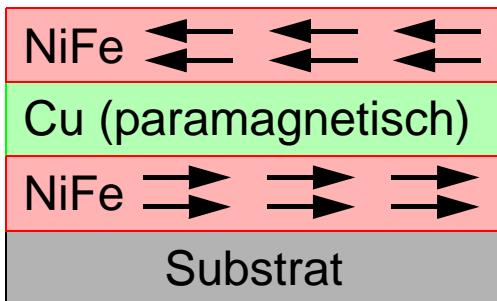
**Historisch:**

Winchester war 1973 Projektname bei IBM

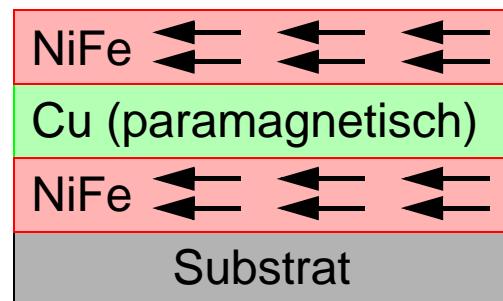
## 5.2.12 Magnetoresistance

Magnetoresistance = Änderung des spezifischen elektrischen Widerstands im Magnetfeld.

Bei Metallen und Legierungen klein, sonst „Giant MR“;  
Entdeckung 1988 durch Baibich et al.: “Giant Magneto-resistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices“, Phys.Rev.Letters, vol. 61, p.2472, Nov. 1988

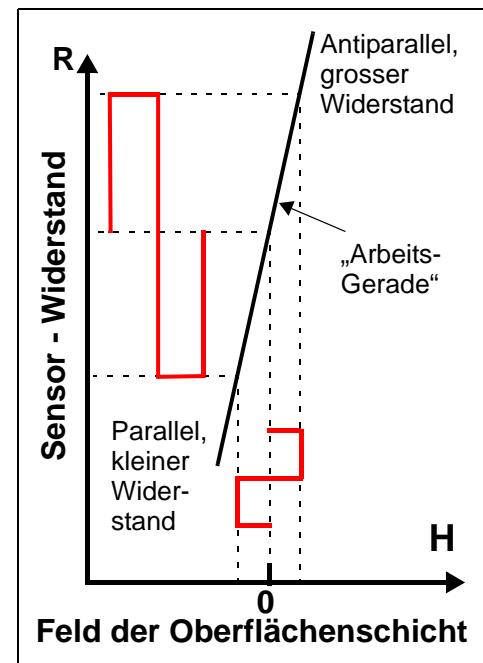
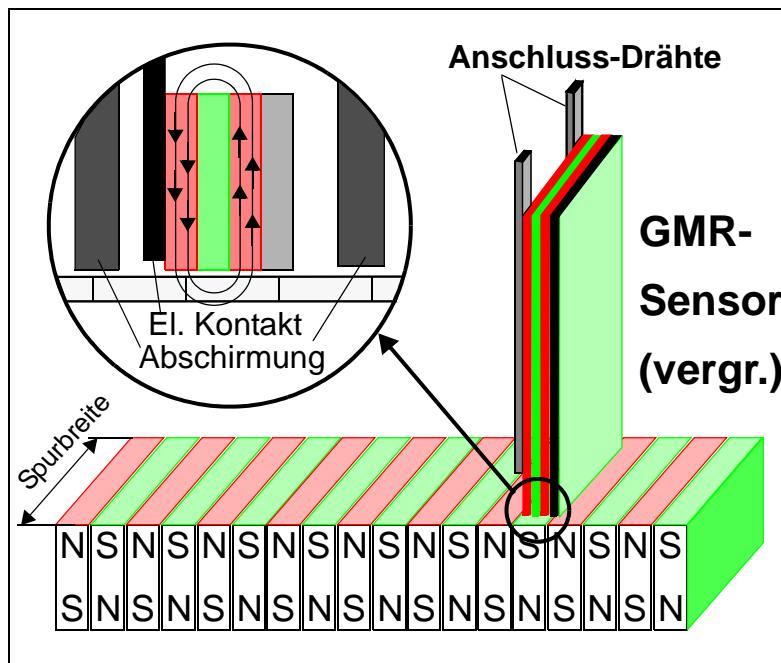


Kein Magnetfeld: Hoher Widerstand



Hohes Magnetfeld: Kleiner Widerstand

Ursache der MR ist die parallele oder antiparallele Ausrichtung von Elektronenspins zum äusseren angelegten Feld (= Platte) an den dünnen aufgedampften Schichten



Trotz der eingezeichneten „Arbeitsgeraden“ beträgt die Widerstandsänderung  $\Delta R/R = 8 - 110\%$ , → Spinpolarisation

## 5.2.13 Optimierung, Grenzen

- Erhöhung der **Speicherkapazität** von Plattspeichern:
  - Horizontale / vertikale Magnetisierung (DFK) ++
  - Einsatz neuer Materialien + Grenze bei ca. 100 Dipolen,  
„Selbstorganisation“ des Gitters +
  - Giant Magnetoresistance-Prinzip bei Köpfen ++
  - „Vernünftige“ Vermehrung der Zahl der Oberflächen je  
Vergrößerung der **Datenrate**:
  - Erhöhung der Drehzahl. + Materialgrenzen +
  - Cache Memory Techniken #
  
- Verkleinerung der **Zugriffszeiten** (Rot.Zeit, Pos.Zeit):
  - RZ: Erhöhung der Drehzahl + Materialgrenzen +
  - PZ: Größere Beschleunigungswerte bei der Arm-  
bewegung + Grenzen +
  - Vermehrung der Kopfzahl/Arm + Kompromisse +
  - Disk File Optimizing + Cache Memory Techniken #
  

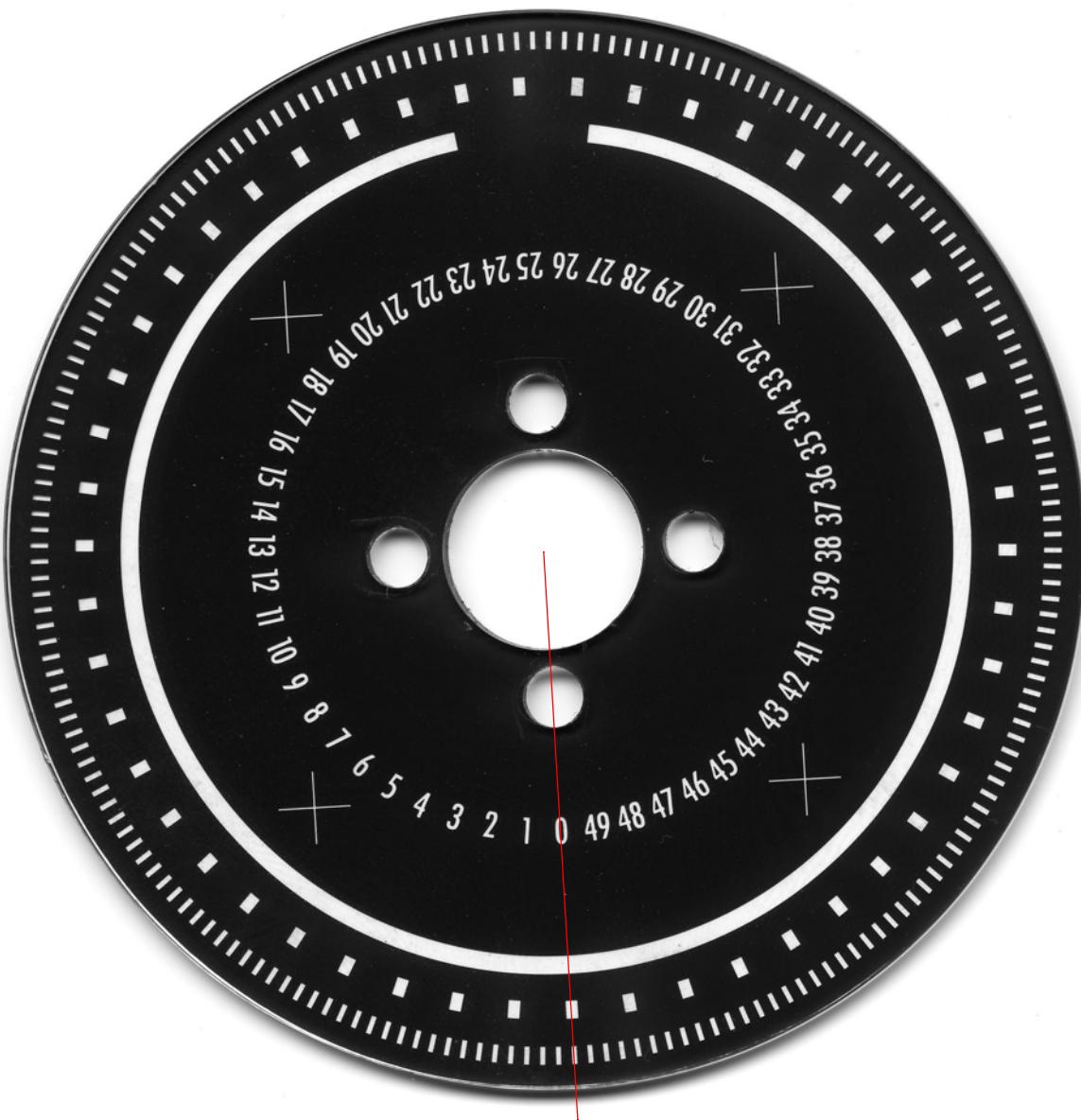
---

- + physikalische Steigerung, ++ besonders viel  
# scheinbare (effektive) Steigerung nach außen

## 5.2.14 Antriebsarten

<b>Magnetbandgerät:</b>	Zwei getrennte Spulenkörper, jeweils mit einem Gleichstrommotor. Bandlauf mit zwei Andruckrollen (vor / zurück)
<b>Kassettengerät:</b>	Ein Gleichstrommotor für Vor und Zurück, Andruckrolle, Kopf fest eingebaut
<b>Streamertape:</b>	Ein Gleichstrommotor für Vor und Zurück, Andruckrolle, Kopfbewegung auf/ab mit Schrittmotor
<b>DAT:</b>	Zwei Wickelkerne, evtl. zwei Gleichstrommotoren, mindestens je zwei Lese-/Schreibköpfe auf rotierender Scheibe. „Schrägansteuerung“ der Bits
<b>Magnetplatte:</b>	Riemenantrieb (Rumpelgeräusche) oder Direct Drive (jeweils nur eine Drehrichtung), Kopfpositionierung mit Linear- oder Schrittmotor
<b>Floppy:</b>	Eine Drehrichtung für Datenträger (Riemen bei 8“ oder Direct Drive bei 5.25“ und 3.5“) Schrittmotor für Köpfe (nichtfliegend)
<b>Bernouilli-Platte:</b>	Eine Drehrichtung für Datenträger (Direct Drive) Schrittmotor für Köpfe (fliegend)
<b>Compact-Disk:</b>	Eine Drehrichtung für Datenträger (Direct Drive) Schrittmotor (grob) und Magnetsystem (fein) für Laserstrahl
<b>Magneto-Optik:</b>	Eine Drehrichtung für Datenträger (Direct Drive) Schrittmotor (grob) und Magnetsystem (fein) für beide Lasersysteme, Dauermagnet schwenkbar
<b>Bubbles:</b>	Dauermagnetfeld und gekreuztes Magnetfeld (Gleichspannung), keine sonstige Mechanik

## 5.2.15 Kopfbewegung



Diese Codierscheibe sitzt auf einer Welle, die ein Steilgewinde trägt. Ansteuerbar sind 4\*50 verschiedene Positionen des bewegten Trägerwagens (mit Lese-/Schreibköpfen) für Plattspeicher oder 8"-Floppy

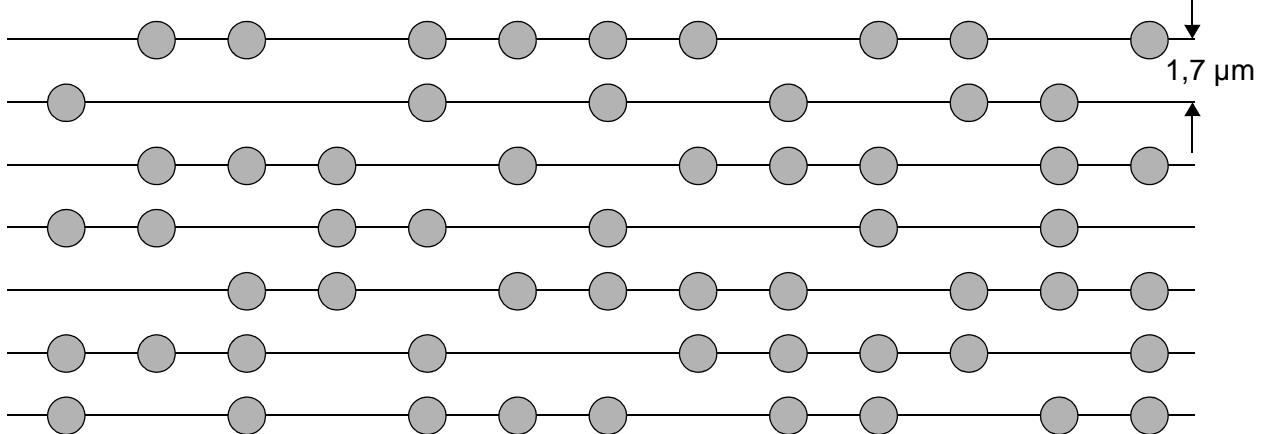
## 5.3 Floppies

---

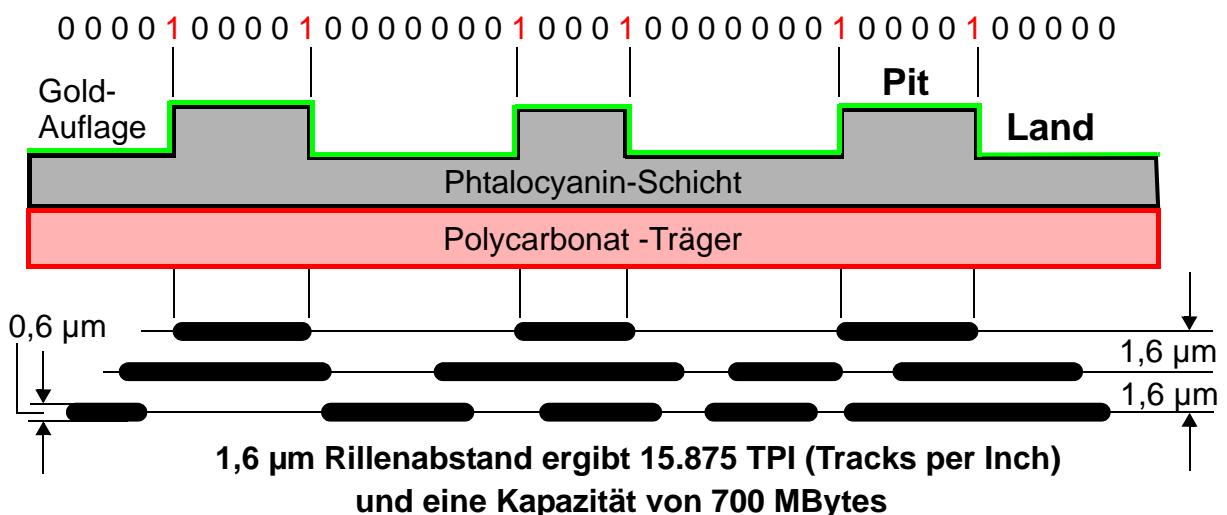
- Massenartikel, daher sparsamster mechanischer Aufwand. „Einplattenversion“ mit zwei Oberflächen
- Nicht geschützt gegen Wärme, Magnetismus
- Lese-, Schreibschutz mechanisch von Hand
- Keine Führung der Achse im Gehäuse
- Sektorloch vorhanden am Datenträger
- Meist keine Vorformatierung
- Viele Formate, teils (nicht) kompatibel
- Oberflächenschutz wird automatisch geöffnet beim Einlegen ins Gerät
- Drehzahl bei 300 U/min, somit Datenrate nur bei einigen 100 KBytes/sec
- Zugriffszeiten bei 100...300ms
- Köpfe fliegen nicht, sondern liegen jeweils auf einer von beiden Oberflächen auf
- Putzen wird durch beigelegtes Papier erledigt
- Historisch: 8“-Format (100-300 KB), eventuell auch schon die 5.25“ - Version (120-780 KB)
- Gängig: 3.5“ HD, 135 TPI, Double sided, High Density, 2MB (1.44 MB formatiert)

## 5.4.1 Compact-Disk (WORM)

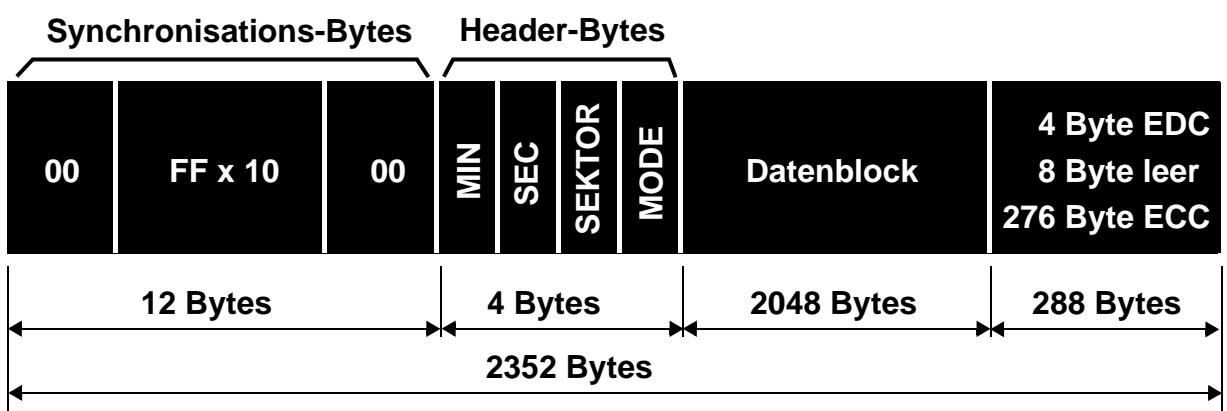
Oberfläche einer CD-ROM mit Löchern, Spurabstand etwa 1,7 µm, Lochdurchmesser ca. 0,9 µm. Es gibt nur eine Spiralspur von aussen nach innen.



CD-ROM mit Pits und Lands, Sprung jeweils eine „1“



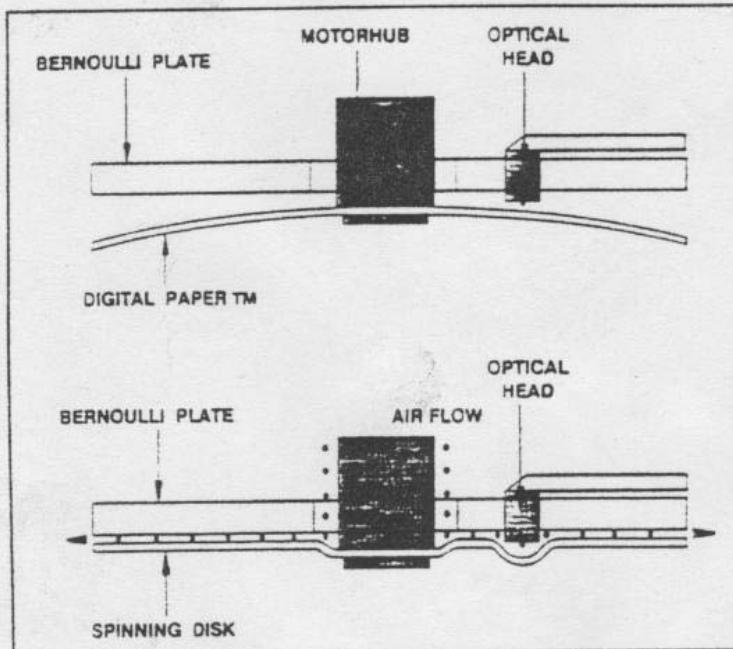
Sektor-Informationen für ein CD-ROM (Mode 1)



## 5.4.2 Bernoulli-Prinzip

# Zurück zum Papier

München (hr) — Mit Speicherkapazitäten bis zum Terabyte-Bereich verheißt ein völlig neues Aufzeichnungsverfahren auf optischem Papier Konkurrenz zu bisheriger WORM-Technologie im Zukunftsmarkt der Datenspeicherung. Nachdem die englische ICI im letzten Jahr das erste digitale Papier entwickelte, zieht jetzt die amerikanische Bosco mit einem Laufwerk-Prototypen nach.



*Arbeitet mit dem Bernoulli-Effekt: Durch die Rotation wird das Papier in einen stabilen Zustand gebracht.*

Das von Bosco entwickelte Laufwerk arbeitet nach dem von ihrer Muttergesellschaft geprägten Bernoulli-Effekt. Die bewegliche optische Disk ist durch eine gemeinsame Achse mit der Bernoulliplatte verbunden, deren optischer Lesekopf exzentrisch auf einer beweglichen Schiene angebracht ist. Wenn sich die Diskette und die Platte drehen, kanalisiert sich der Luftstrom unter der Platte und vergrößert dabei die Luftgeschwindigkeit. Dadurch entsteht ein Druckunterschied, der die Disk in Rich-

tung Platte anhebt und sie bei einer bestimmten Geschwindigkeit im Luftstrom stabilisiert.

Somit nimmt die Disk einen sehr konstanten Abstand zur Platte ein (etwa 2 Mikron) und fügt sich durch ihre Flexibilität in einem Abstand von etwa 50 Mikron um den Lesekopf. Die Zugriffszeiten liegen laut Herstellerangabe unter 40 ms, wobei insgesamt zwei Disks in derselben Cartridge eingelegt werden können und jede von einem eige-

nen Kopf gelesen wird — somit verdoppelt sich also die Online-Kapazität des Laufwerks.

Das digitale Papier selbst sieht auf den ersten Blick aus wie gewöhnliches Silberpapier. ICI stellt es in Bahnen mit etwa einem halben Meter Länge her und faßt es in Rollen mit zirka 10 cm Durchmesser oder etwa 10 TByte Speichervolumen zusammen. Es kann nur einmal beschrieben, jedoch beliebig oft gelesen werden, ähnlich wie bei der WORM-(Write Once Read Many-)Technologie. Dabei brennt ein Halbleiter-Laser die Daten in das digitale Papier ein. Als Grundmaterial dient eine Unterlage aus Polyester, auf die ein polymeres optisches Speichermaterial aufgetragen wird. Der Datenträger kann somit in Streifen geschlitzt werden, ähnlich herkömmlichen Bändern, als Disketten gestanzt, in Kassetten eingefügt und zu Streifen oder Anhängern geschnitten werden. Ein fest arretierter Laser sorgt für die Datenübertragung.

Der größte Vorteil von digitalem Papier sind somit neben seiner mechanischen Biegsamkeit, die es unempfindlich gegen Bruch macht, die enorm niedrigen Kosten. Durch das große Speichervolumen und die geringen Materialkosten fallen die Kosten auf etwa einen Pfennig pro MByte. Ein 2400-ft-Band auf einer 10,5 Zoll großen Spule kann derzeit 600 GByte (600000 MByte) aufnehmen. Das entspricht etwa 1,6 Millionen Disketten mit 360 KByte oder 300 Spielfilmen voller Länge.

## 5.4.3 Kennwerte für rotierende Datenträger

Geräte-Bezeichnung	Prinzip Aufbau	Kapazität [MB]	Datenrate [KB/s]	Durchmesser [Zoll]	Drehzahl [min <sup>-1</sup> ]	Zugriffszeit PT/LT [ms]
Magnetische Aufzeichnung						
„Trommel“	Festköpfe	10 - 25	980	30 - 70	1.500	0 / 40 - 20
WP - alt	Plattenstapel	5 - 256	500	15 - 20	3.600	50 / 15
WP - neu	Gesamtplatte	1.000 - 4.000	10.000	3.25, 5.25	3.600 - 7.200	7.9 / 4.17
Winchester	VC, SM	5 - 9.000	20.000	3.5, 5.25, 8, ..	3.600 - 7.200	7.9 / 4.17
Floppy	1 oder 2-seitig	80-1.000	300 - 800	3.5, 5.25, 8	ca. 300	50 / 100
Nicht - magnetische Prinzipien						
Bernouilli	Papier/Löcher	ca. 10.000	max. 500	5.25	300 - 1000	40
CD / WORM	Löcher / Pits	600 - 700	300	5.25	300	220 - 300
MO	grob/fein-Just.	2*594	600 - 1.200	5.25	300	24

PT/LT = Positioning Time / Latency Time

(bezogen auf 1/2 Umdrehung)

WP = Wechselplatte (was wird gewechselt)

VC = voice coil (Linear-Motor oder Drehwerk)

SM = Schrittmotor

CD = Compact Disc, WORM = Write Once, Read Multiple

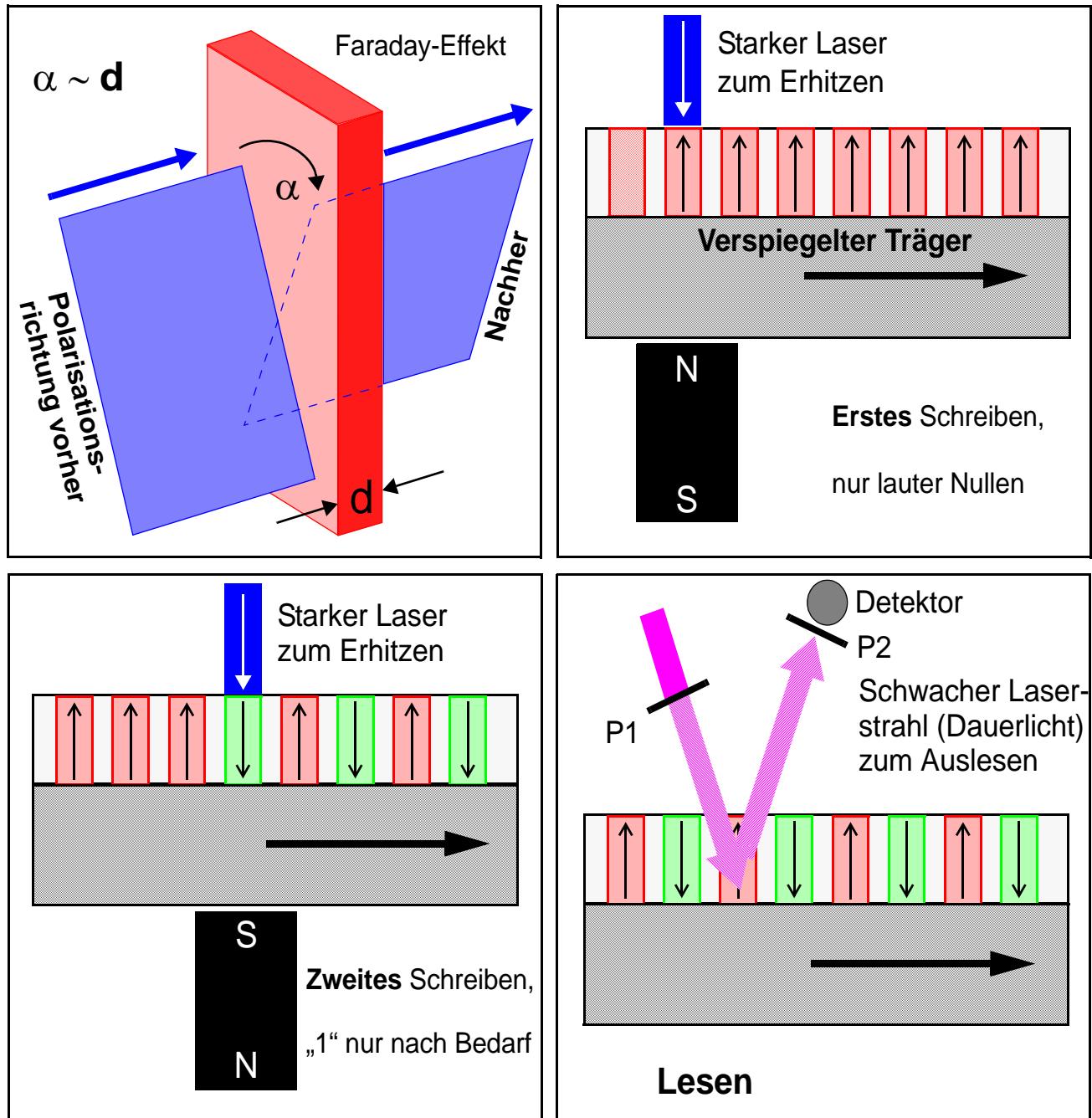
MO = Magneto-optisch (Drehung Polarisationsebene,

Faraday-Effekt)

## 5.5.1 Magneto-Optik 1

**Kerr-Effekt:** Drehung an der Oberfläche

**Faraday-Effekt:** Drehung im Volumen



## 5.5.2 Magneto-Optik 2

Rewritable optical technology today encompasses three different methods:

- Magneto-optical
- Dye-Polymer
- Phase-Change.

The most durable and predominant technique in the market today is magneto-optical. This discussion will be limited to this technique, which is the method that Hewlett-Packard has chosen for introducing rewritable optical technology for direct access secondary storage.

Magneto-optical technology relies on the storage of information on a thin film of magnetic material. Like conventional magnetic recording, the information is stored on the media in the form of magnetic domains. The domains are aligned vertically, in contrast to most magnetic recordings today, which are based upon longitudinal magnetization. The important and significant difference comes from the fact that the processes of writing, erasing, and reading are performed with a light beam derived from a solid-state laser and associated optics, not by mechanical heads that come into contact or near contact with the recording surface. This attribute allows optical recording to have longer life and higher reliability than tapes and flexible disks. Optical disks are immune to the typical wearout modes that occur with contact or close proximity recording.

### Recording

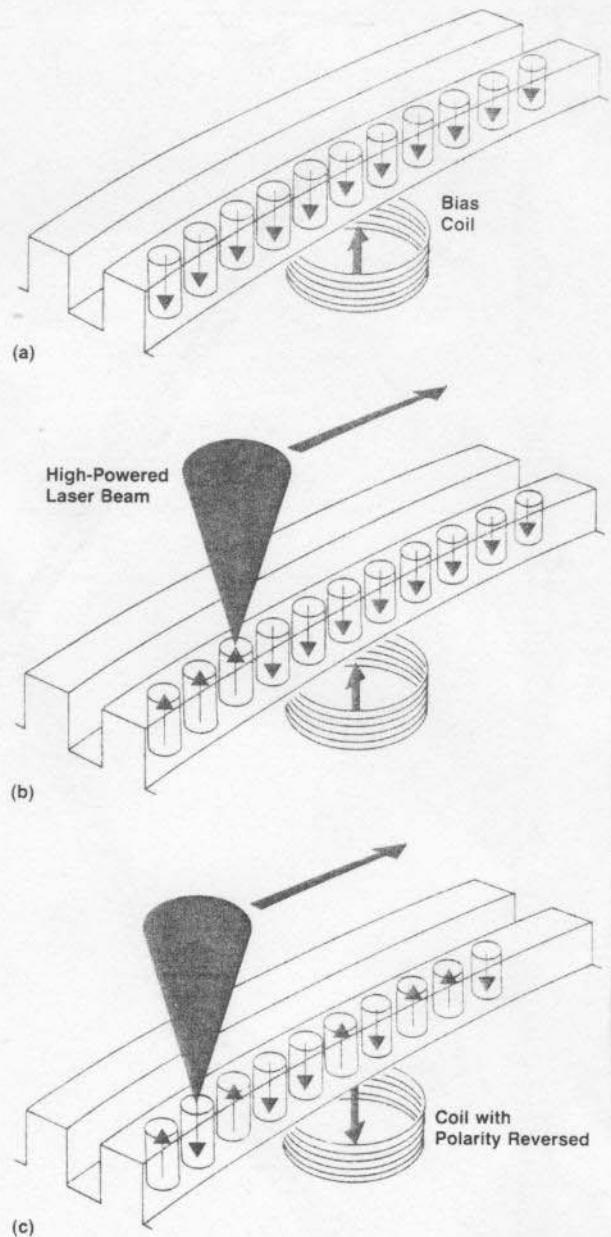
Thermomagnetic writing is the term used to describe the process of writing information on a thin magneto-optical film. The laser beam heat-modulates the magnetic film about its Curie temperature. The Curie temperature of a magnetic material is the temperature at which the material loses its coercive magnetic field. This occurs between 150°C and 200°C for typical magneto-optical thin films. When this occurs, the material loses all memory of its prior magnetization and can acquire a new magnetization as it cools in the presence of an external magnetic field.

The writing process is shown schematically in Fig. 1. The recorded information is stored on the magnetic medium by reversing a magnetic domain to store a one and by not reversing a domain to store a zero. Thus the precondition for writing information is for all domains to be initialized to the zero state. This means that, to overwrite data, an erase pass must be performed before the write pass to set up this initial condition of all-zero domain alignment. During the erase pass, the laser is turned on to heat the magnetic domains and an external magnetic field is applied in the proper orientation to change all of the domains to the zero state.

Data can be written on the erased track during a subsequent disk rotation. With the polarity of the external magnetic field reversed, the laser is turned on and off to heat only those domains that are to be changed to the one state. The external magnetic field required to erase or write data is supplied by a bias magnet which is typically positioned on the opposite side of the film surface from the optical head. This external bias magnet must have the ability to change magnetic polarity; therefore, it is typically an electromagnet or a permanent magnet that can be mechanically rotated to accomplish polarity changes.

When magneto-optical films are at room temperature, they typically exhibit coercivities of several thousands of Oersteds. This means that in the absence of laser heating, the magnetic field required to affect their state of magnetization is extremely large. Because of these high coercivities at operating and storage tem-

peratures, magneto-optical records are less susceptible to damage from external fields than records on conventional magnetic storage materials such as those on flexible and rigid magnetic disks.



**Fig. 1.** The magneto-optical write process. (a) All of the magnetic domains are magnetized north-pole-down. This all-zeros state is the precondition for writing. (b) The laser beam turns on for each domain that is to store a one. Heating the domain above the Curie temperature causes it to lose its previous magnetization and orient itself with the external magnetic field of the bias coil. (c) To erase the data, the polarity of the external field is reversed and the laser is turned on, returning all of the magnetic domains to the condition shown in (a).

## 5.5.3 Magneto-Optik 3

### Readback

For data readout, information is extracted from the magneto-optical film by reflecting a polarized light beam off the magnetic film surface and detecting a change in the angle of polarization of the reflected beam. This physical phenomenon, upon which the magneto-optical rewritable technology is based, is known as the Kerr effect. It is manifested as a change in the state of polarization of light upon interaction with a magnetized medium. The amount of polarization rotation is small (less than one degree) but techniques used in film manufacturing can enhance the effect. In addition, a variety of detection and readout techniques have been developed to enhance the magneto-optical signal. As a result, good signal-to-noise ratios of 60 dB or more can be achieved.

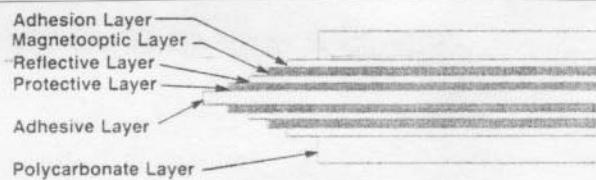
Another magneto-optical readout alternative is based upon the Faraday effect. This effect is similar to the Kerr effect but relies on light transmitted through magnetic films. The interaction of the light with the film causes polarization state changes. This technique is not employed in the magneto-optical rewritable process primarily because of the low transmissibility of magneto-optical films and the difficulty of placing interactive optics on both sides of the media.

### Magneto-optical Materials

Magneto-optical materials are composed of a rare earth element and a transition metal. Typical rare earth elements used in magneto-optical recording include gadolinium (Gd, z = 64) and terbium (Tb, z = 65). These rare earth elements are also called lanthanides. These elements are soft, gray metals that have good conductivity. As a group, the lanthanides are not very abundant. The most common lanthanide is cerium, which makes up only  $3 \times 10^{-4}$  percent of the mass of the earth's crust. The transition metals commonly used in magneto-optical recording include iron (Fe, z = 26) and cobalt (Co, z = 27). These elements contribute characteristics such as high melting temperature, good conductivity, and fairly high hardness. Alloys of rare earths and transition metals are amorphous and have been processed to achieve a high level of chemical stability. The transition metal provides the dominant magneto-optical interaction (Kerr effect) while the rare earth element helps to provide high vertical magnetic anisotropy.

### Curie and Compensation Temperatures

The important parameters in processing magneto-optical films are the Curie temperature of the alloy (mentioned earlier) and the compensation temperature. The compensation temperature is the temperature at which the magnetization component of the transition element is equal and opposite to that of the rare earth element, so that the net magnetization is zero. The compensation point can be either above or below the ambient temperature. At the compensation temperature, since there is no net magnetization, the material cannot interact with external fields. Therefore, the coercivity is extremely high and the magnetic domains are very stable. For practical magneto-optical recording films in use today, the compensation temperature is kept well below the Curie temperature and the lowest operating temperature the film will see. The reason is that the interaction of the compensation point magnetic behavior can affect the requirements for Curie temperature recording. If the compensation temperature is in the region



**Fig. 2. Magneto-optical disk construction.**

ambient, if the percentage of terbium is higher, say above 22 to 23 atomic percent, then the compensation temperature can exceed ambient. At percentages greater than 27 or 28 atomic percent, there is no compensation temperature because the compensation temperature exceeds the Curie temperature, and magnetic properties above the Curie temperature dominate the film behavior.

The Curie temperature is selected so that the laser light source can easily raise the magneto-optical film material to this temperature without exceeding the design limits on the laser power. A film with a lower Curie temperature requires less heat and therefore is more sensitive. Hence the Curie temperature controls the media sensitivity.

The Curie temperature for magneto-optical films is determined by the selection of the transition metal component. One way to control the Curie temperature is to adjust the ratio of cobalt to iron in the transition metal. As the ratio of cobalt to iron is increased, the Curie temperature is increased and the film sensitivity is decreased—more power is required to reach the Curie temperature.

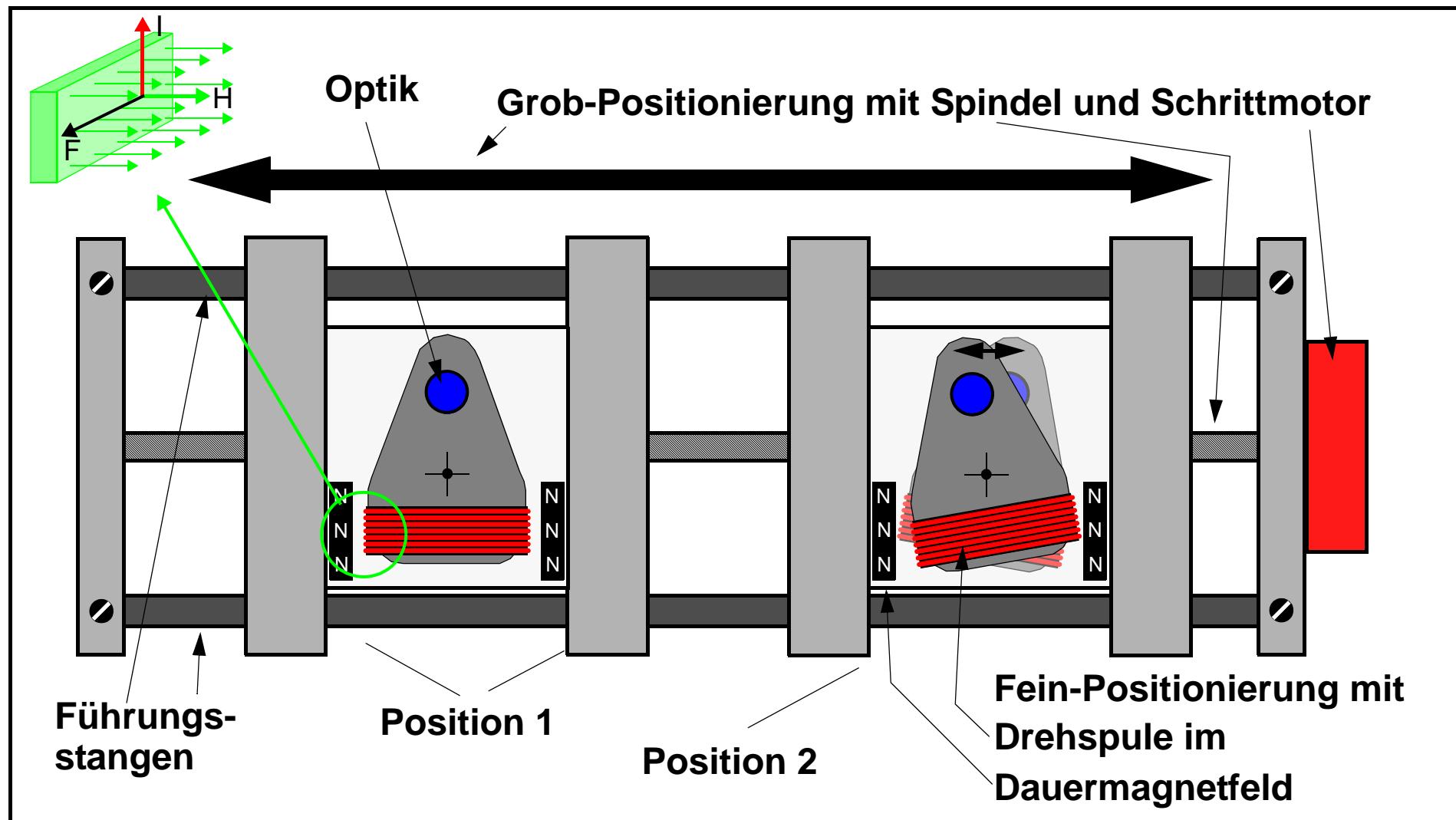
### Manufacturing

The manufacturing processes for magneto-optical disks have to take into account a wide variety of parameters. Important considerations include the following:

- Mechanical stability of the substrate, which is typically plastic (polycarbonate). Glass and aluminum have also been used. Some of the parameters of concern are warp, tilt, axial and radial runouts, and accelerations.
- Birefringence of the substrate, a condition in which the index of refraction is dependent on the polarization of the light.
- Dust protection. This is provided by a transparent layer that keeps dust, scratches, or other optical disturbances away from the focal plane of the recording surface.
- Surface reflectance control. This requires control of layer thicknesses and refractive indexes.
- Thermal characteristics, including thermal properties of films and surrounding structures and materials.
- Magnetic properties, which are determined by film composition and thicknesses.
- Protective coatings, such as dielectric barrier films for corrosion protection.

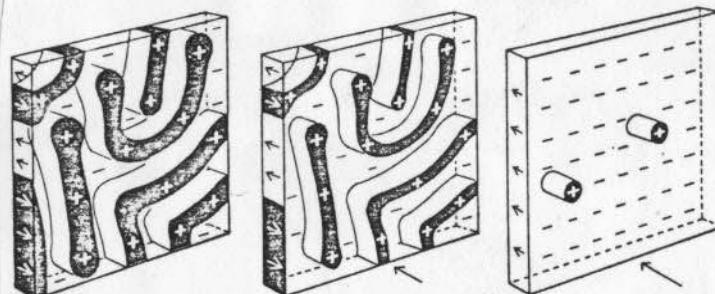
A typical cross section of a magneto-optical disk is shown in Fig. 2. The disk consists of two ten-nanometer-thick layers of magneto-optical film—one for each side of the disk—sandwiched between two polycarbonate disks. Dielectric material and adhesives separate and bond the layers.

## 5.5.4 Grob- und Feinjustage Lesekopf CD/MO



## 5.6.1 Bubble-Memories 1

### Magnetic-bubble memory technology



No external magnetic field

Small external magnetic field

Larger external magnetic field

[4] The process of bubble formation: Those domains that oppose an increasing external field shrink in size until they form cylindrical domains, or bubbles. The domains are mobile.

Magnetic bubbles are small cylindrical magnetic domains formed in single-crystal thin films of synthetic ferrites or garnets or in thin amorphous magnetic metal films when an external magnetic bias field is applied normal to the plane of the film. The domains are mobile in the plane of the film in the presence of a magnetic field gradient and can be controlled by special structures to perform logic or memory functions. The presence of a bubble corresponds to a "1" and the absence of a bubble to a "0."

In the absence of the bias field, the normally occurring, randomly distributed, serpentine domains exist (Fig. 4). As the bias field is increased in strength, those domains that oppose the external field shrink in size until they form the cylindrical domains or bubbles shown on the right. A necessary characteristic of the materials used in bubble devices is that they exhibit magnetic uniaxial anisotropy with the axis of easy magnetization perpen-

#### Bubble materials

The orthoferrites have the general composition  $AFeO_3$ , where A is usually an element or elements with large ionic radii, such as the rare earths. Typical examples are yttrium orthoferrite ( $YFeO_3$ ) and samarium terbium orthoferrite ( $Sm_{0.5}Tb_{0.45}FeO_3$ ). Bubbles formed in this class of materials generally are too large for high-density data storage and exhibit poor temperature stability, and consequently they are not widely used.

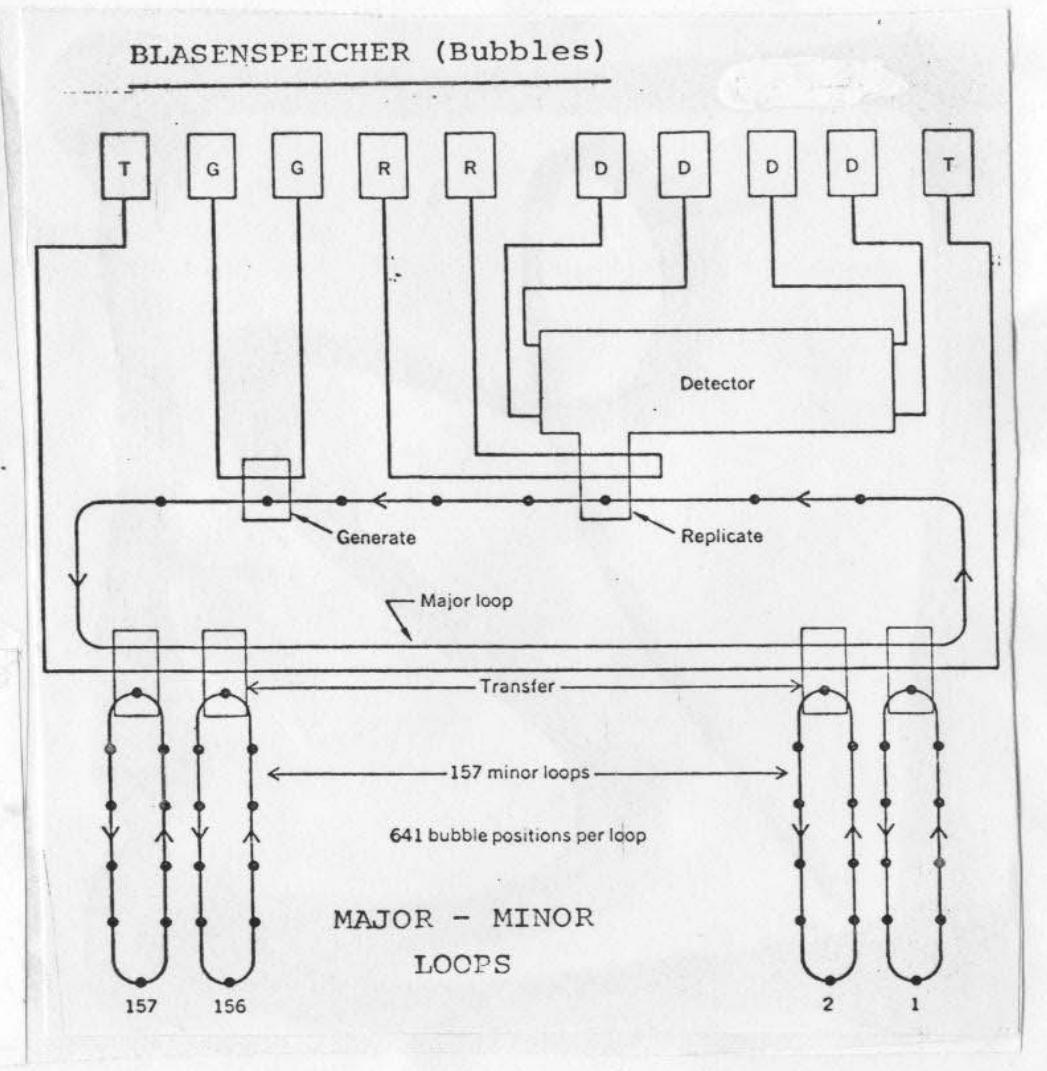
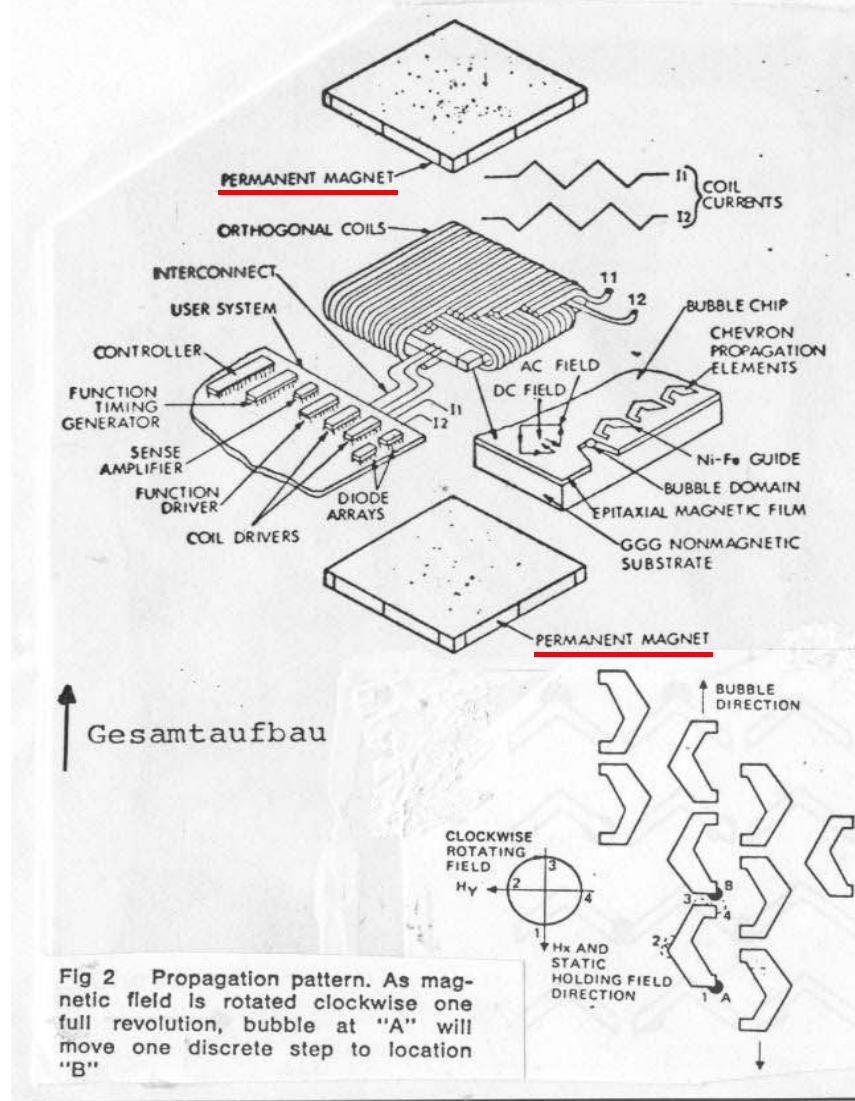
The hexagonal ferrites include materials such as magnetoplumbite (which has the composition  $PbFe_{12}O_{19}$ ). The bubbles formed in hexagonal ferrites can be made very small, but their mobility is too low for high-speed data rates.

The synthetic garnets are a more complex materials system with the general composition  $A_2B_3O_12$ , where A again is an element or elements having large ionic radii, such as the rare earths, and B is an element or elements having smaller ionic radii, such as the transition metals like iron. Typical examples are europium ytterbium garnet ( $EuYb_3Fe_5O_{12}$ ) or more complex materials. Magnetic bubbles found in these synthetic garnets are small, have high mobilities, and exhibit good temperature characteristics. For typical garnet materials, bit densities of 155 kbits/cm<sup>2</sup> ( $10^6/in^2$ ) are readily achieved and practical operating frequencies in excess of 100 kHz have been obtained.

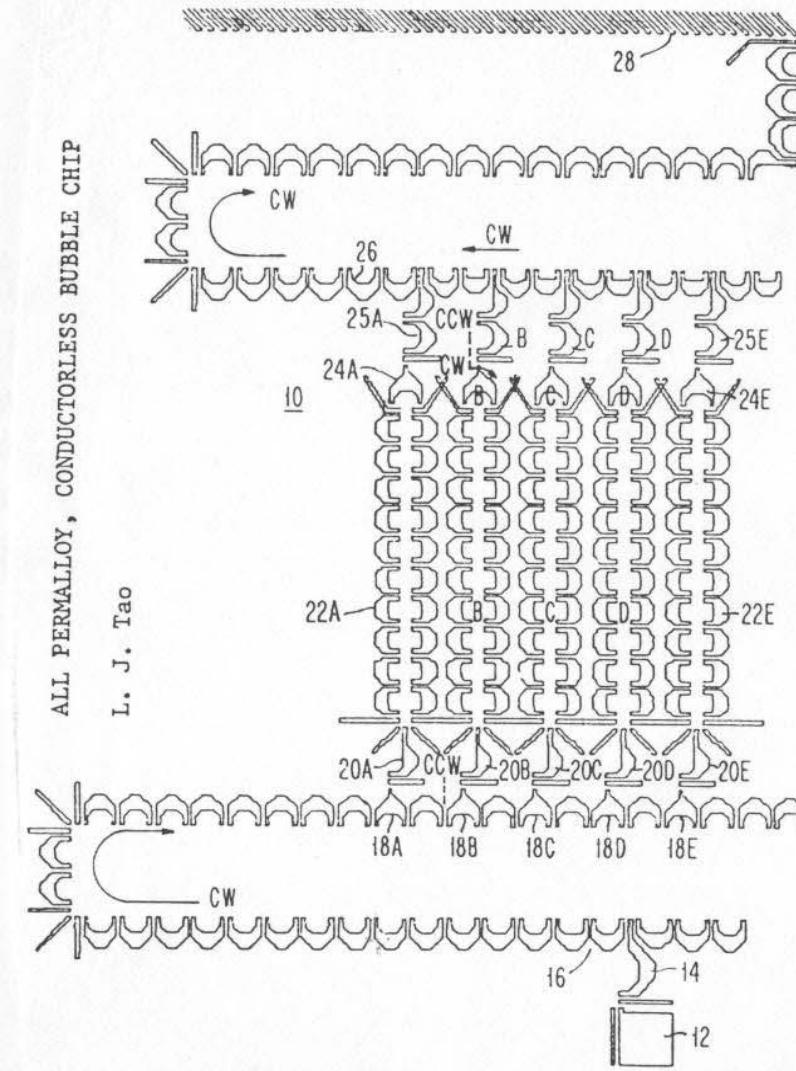
The amorphous metal films are composed of such metals as iron and/or cobalt and gadolinium. Although these films frequently are made by sputtering, they also have been produced by electrodeposition and splat cooling. Such films permit the formation of magnetic bubbles down to 0.1 μm in diameter. Development and control of the anisotropy sufficient to stabilize the perpendicular domains are still limiting factors in the application of these films.

Aus: IEEE Spectrum  
April 1978

## 5.6.2 Bubble-Memories 2



## 5.6.3 Bubble-Memories 3



### IBM<sup>®</sup> Technical Disclosure Bulletin

Vol. 23 No. 8 January 1981

A conductorless chip employing C-bar type elements switches bubbles by reversing the drive field momentarily. The operation of switches by drive field reversing is based on the non-reciprocal design of the permalloy pattern. Instead of propagating backward when the drive field is reversed, the bubbles follow a new path of permalloy patterns.

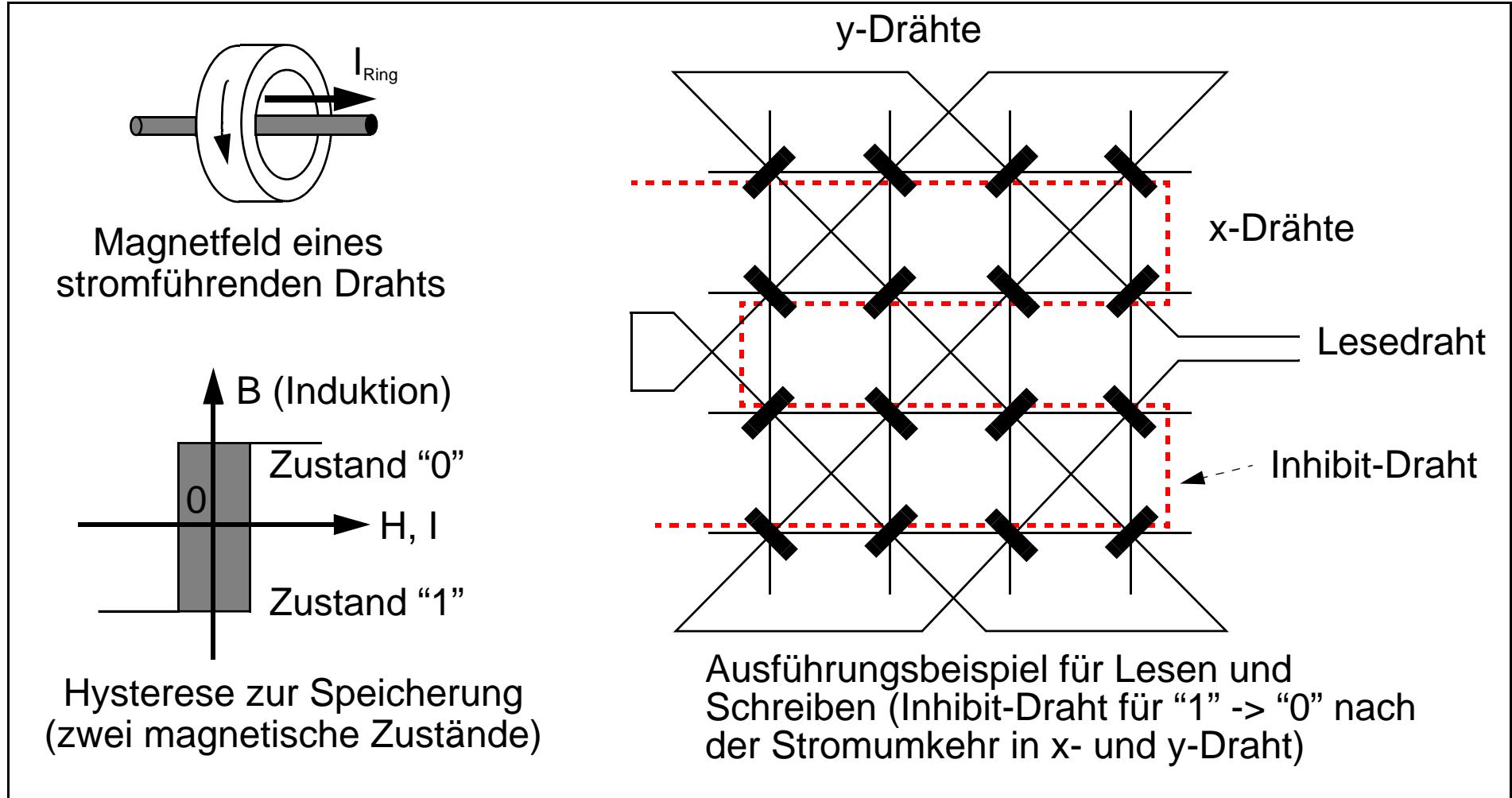
As shown in the drawing, the conductorless chip 10 has a generator 12 that replicates a bubble onto skyhook element 14 on a counterclockwise (CCW) rotation of the drive field. With a clockwise (CW) rotation, no bubble is generated. Hence, a "1" is written into the major loop input channel 16 by one CCW rotation followed by two CW rotations, while a "0" is written by a single CW rotation.

The bubbles propagate along the input channel 16 with CW rotation until they reach the switch elements 18A-18E. The bubbles will pass from switch elements 18A-18E along elements 20A-20E into minor loops 22A-22E, respectively, with one complete CCW rotation, whereas they will continue down channel 16 with CW rotation. Bubbles will circulate around minor loops 22A-22E with CW rotation.

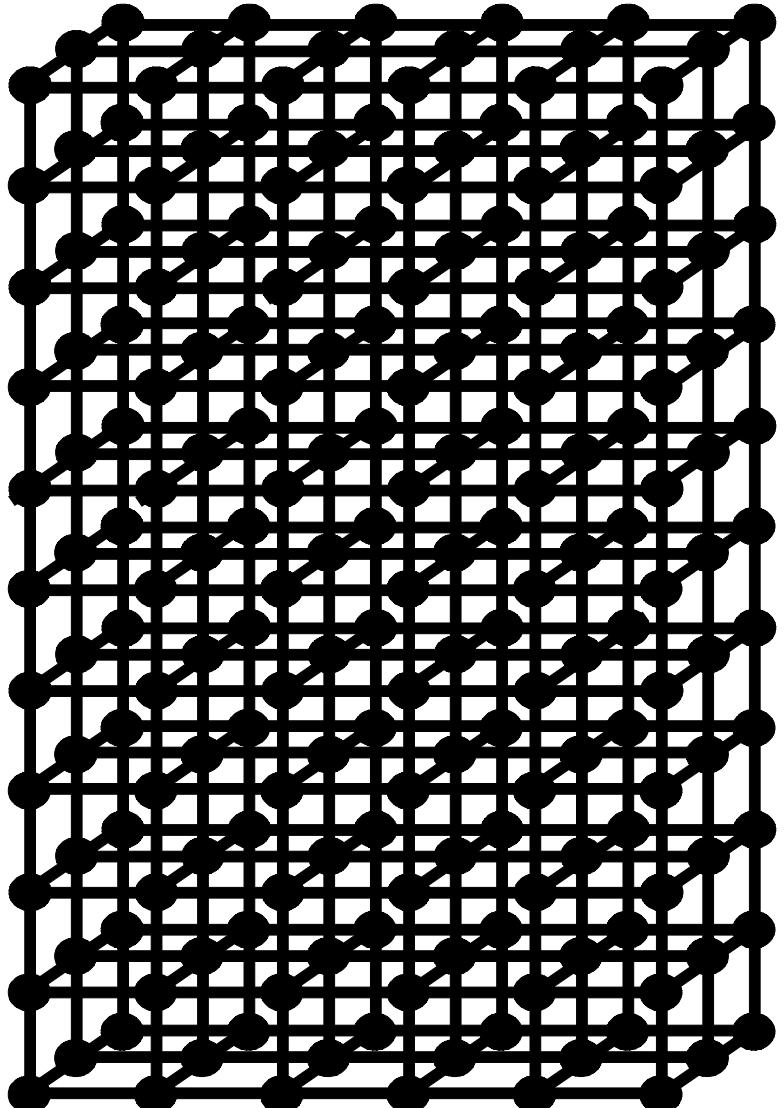
With two complete CCW rotations, a bubble on a minor loop transfer-out switches 24A-24E will propagate to the major output channel 26. Two CCW rotations are required due to the presence of additional C-bar elements 25A-25E. C-bar elements 25A-25E differentiates the transfer-in and transfer-out operation which requires only one CCW rotation and thereby insures data integrity during a transfer-in operation. The bubbles then proceed along output channel 26 to expander/sensor 28.

During transfer-in and -out operation, one and two unwanted bubbles are respectively replicated into the input channel 16. Care has to be taken to make sure that these bubbles do not get transferred into the minor loops 22A-22E. One way to do this is simply to run the drive field CW in sufficient numbers to propagate the unwanted bubbles into the guardrail (not shown) at the end of the input channel 16 after each transfer-in or -out operation.

## 5.7 Kernspeicher



## 5.8.1 Si-Einkristall



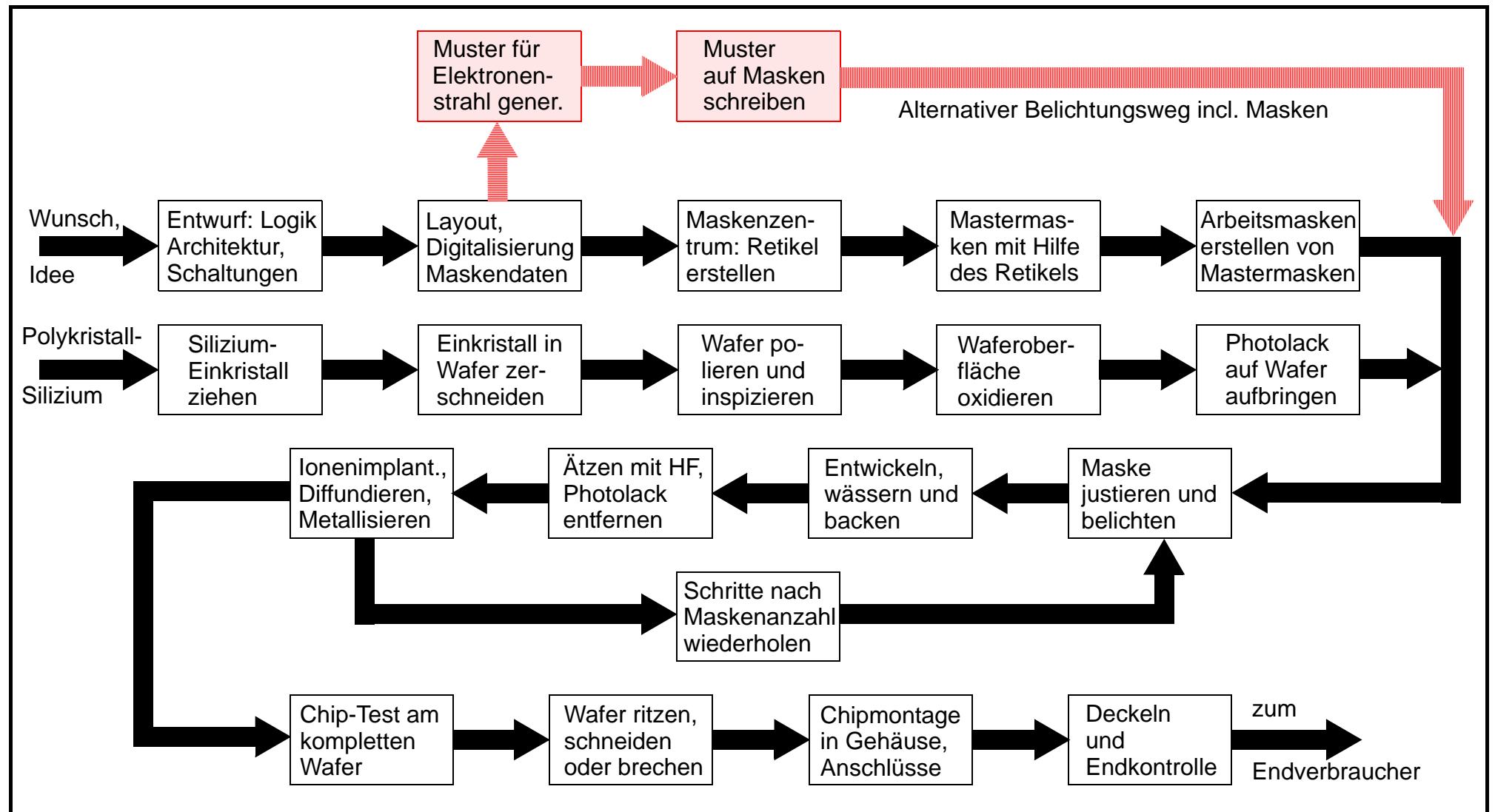
Man stelle sich vor, dass der hier skizzierte Atomverband aus Si-Atomen in jede Richtung noch ca. 5000 km weitergeht, dann hat man eine Vorstellung von der hohen Reinheit und Ordnung in einem Einkristall. Jedes grössere Fremdatom erzeugt eine Gitterverzerrung, in schlimmsten Fall wächst der Einkristall falsch weiter.

Da Silizium ein vierwertiges "Halbmetall" ist, muss man durch Zugabe 5-, bzw. 3-wertiger Elemente (As, P-Ionen) Elektronen- oder Löcherleitung zum Ladungstransport im Chip erzeugen.

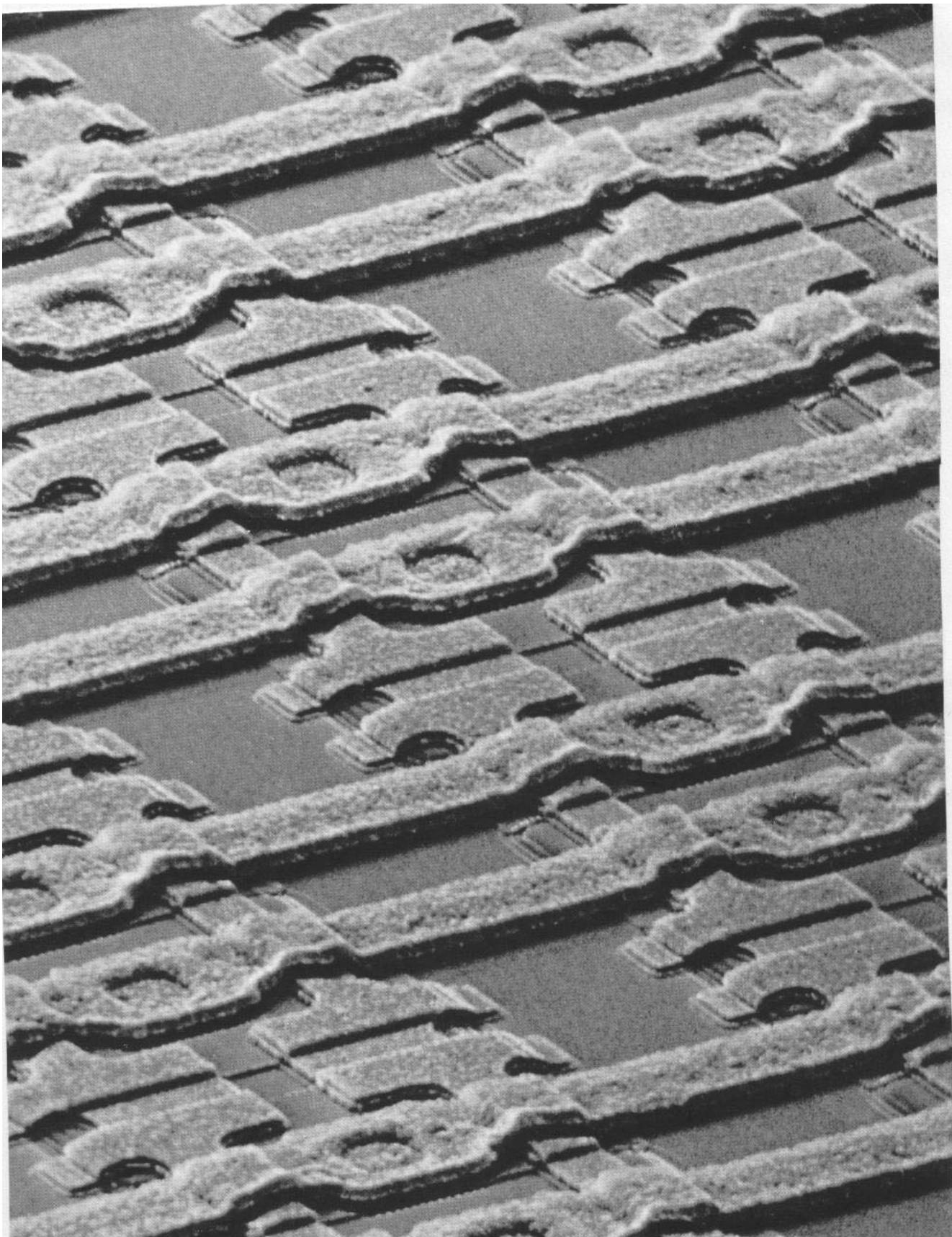
Der Silizium-Einkristall ist relativ spröde, trotzdem lässt er sich in ca. 0,5 mm dicke Wafer (Scheiben) zersägen.

Diese lassen sich hervorragend polieren, dann oxidieren ( $\text{SiO}_2$  ist der ideale Isolator). Andererseits löst sich  $\text{SiO}_2$  sehr gut in Flusssäure (HF) auf. Der Abdecklack zum Ätzen löst sich an den mit Licht oder dem Elektronenstrahl "belichteten" Stellen auf. Damit scharfe Kanten (im Nanometerbereich) entstehen, wird in der Gasphase geätzt, dies gilt auch für die Dotierung (Ionenimplantation). Beim Metallisieren (Leiterbahnen) ist auf thermische Verträglichkeit der Ausdehnungskoeffizienten aller Partner zu achten (früher Au oder Al, heute Cu).

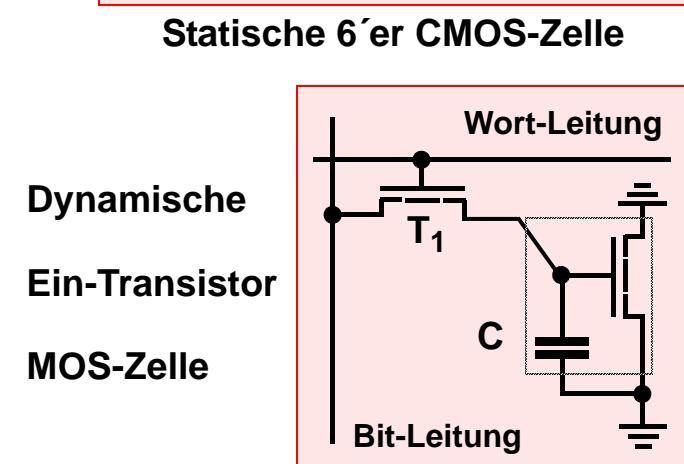
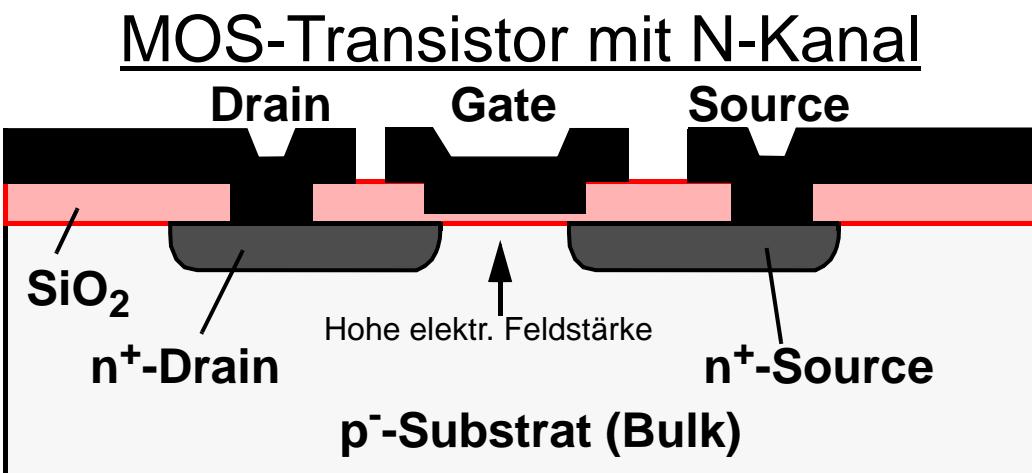
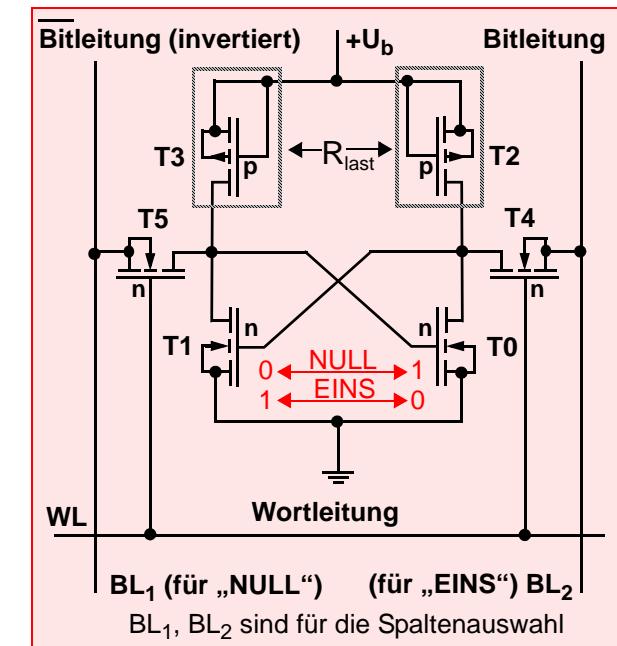
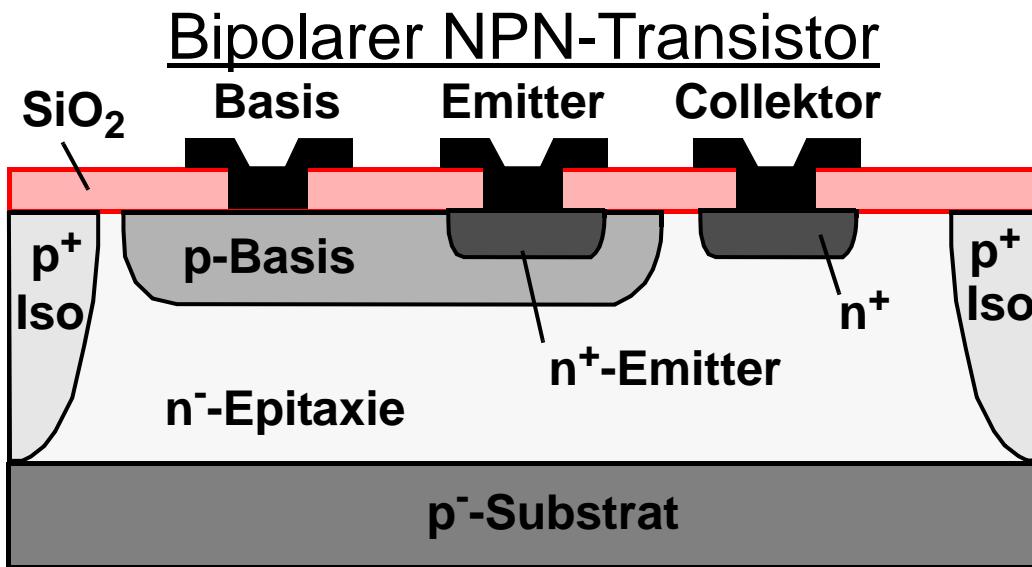
## 5.8.2 Von der Idee zum Chip



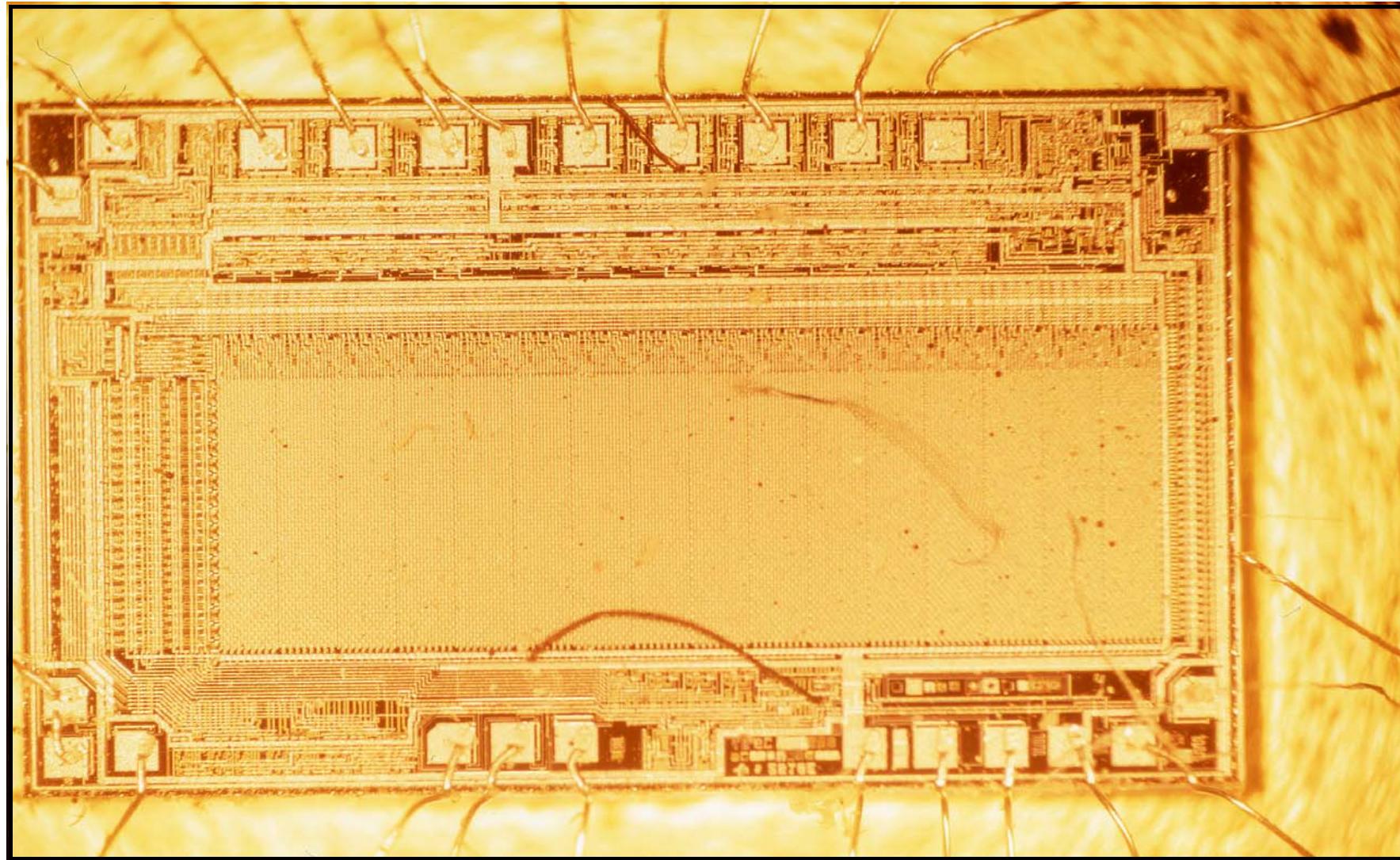
## 5.8.3 “Innenansicht” Chip



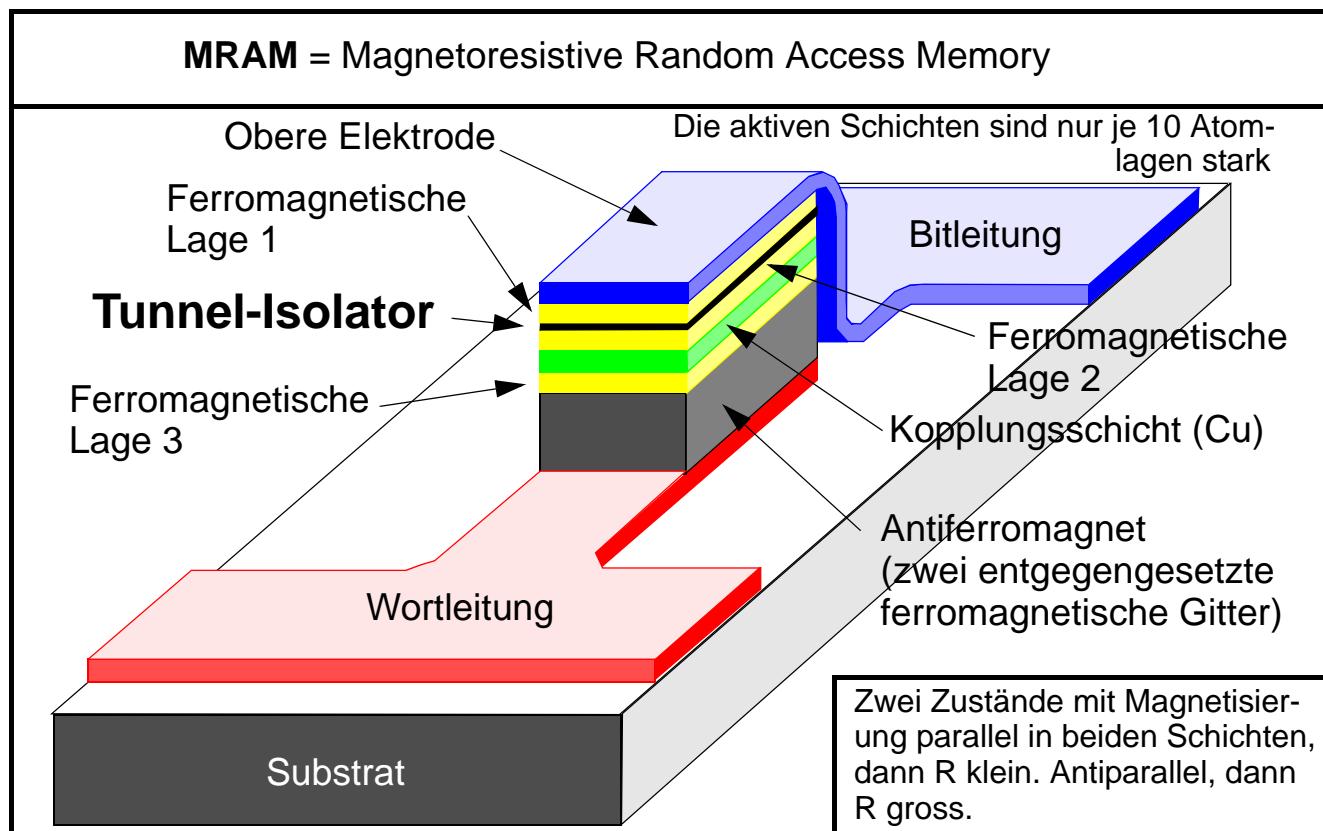
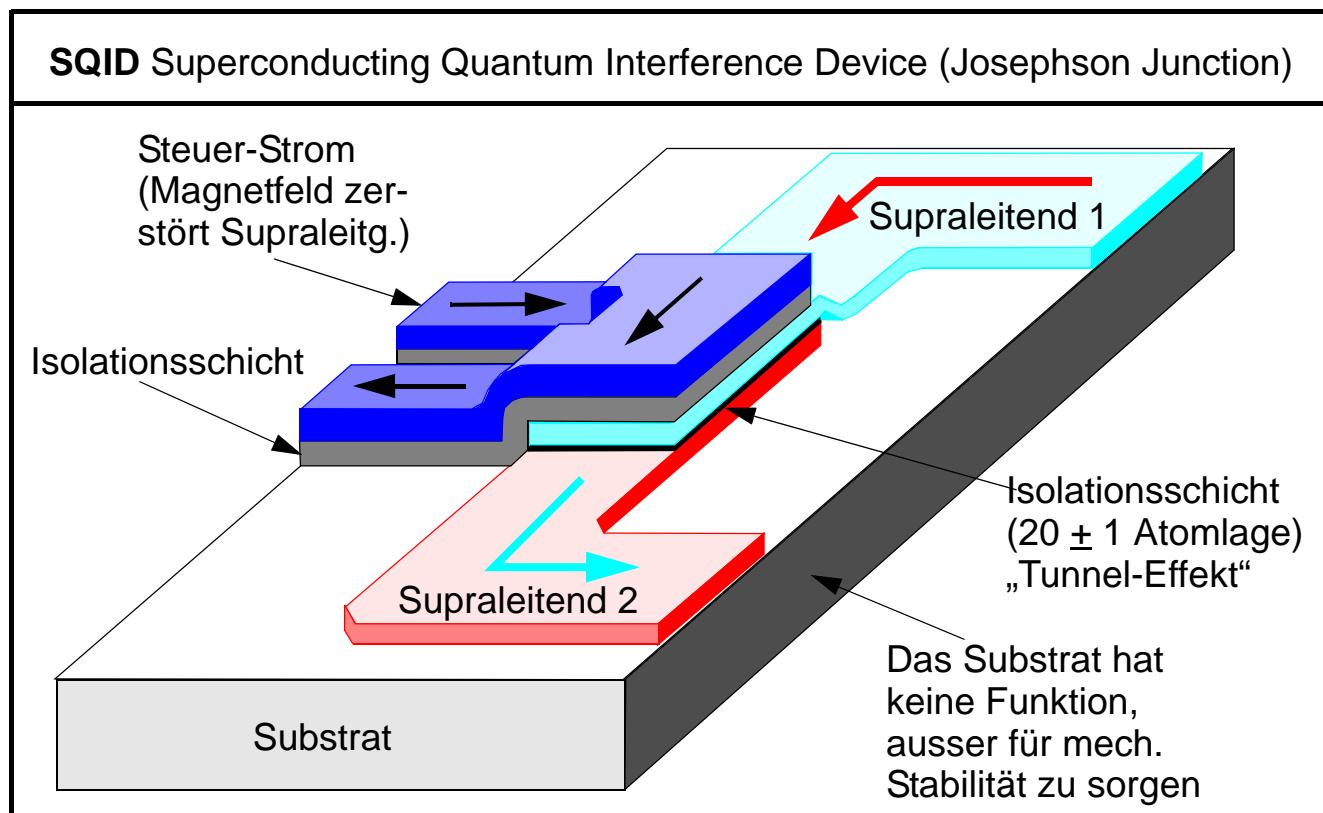
## 5.8.4 “Moderne” RAM’s



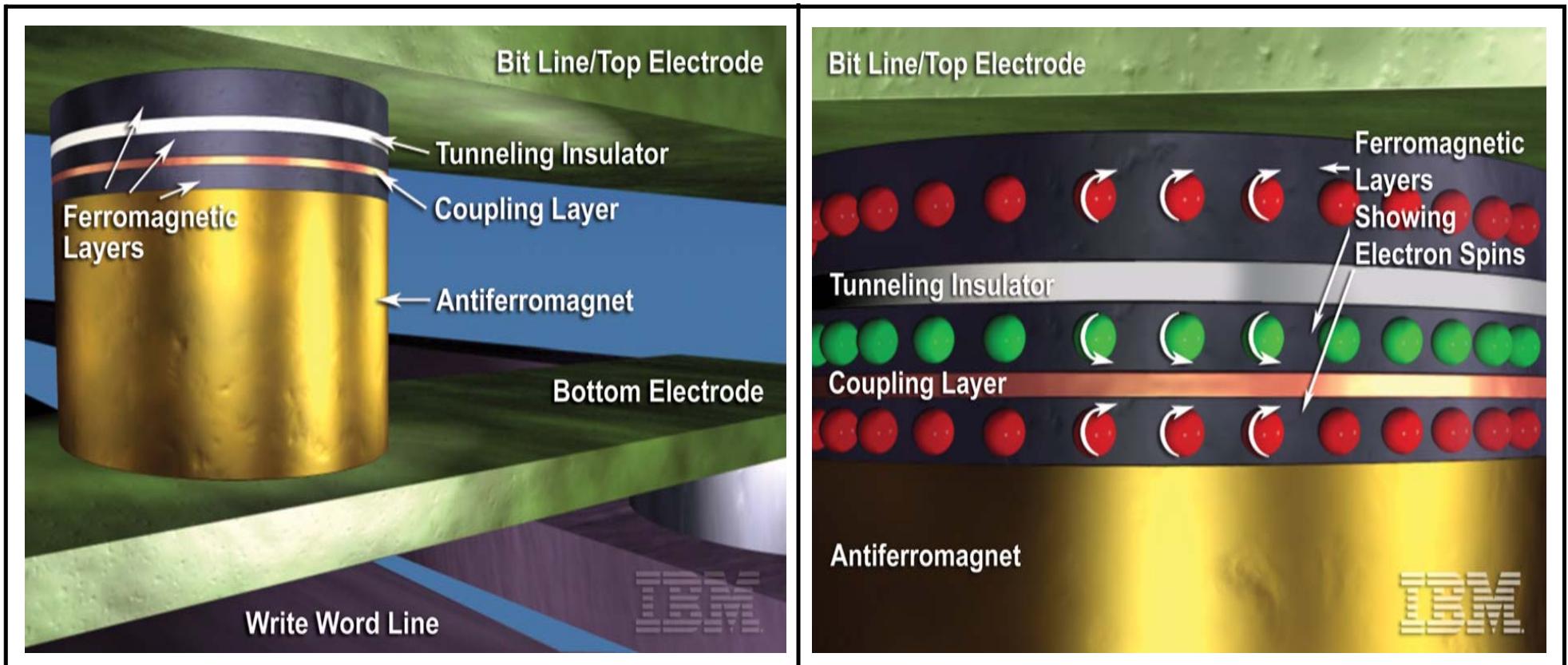
## 5.8.5 Chipverdrahtung nach innen / aussen



## 5.9.1 MRAM 1

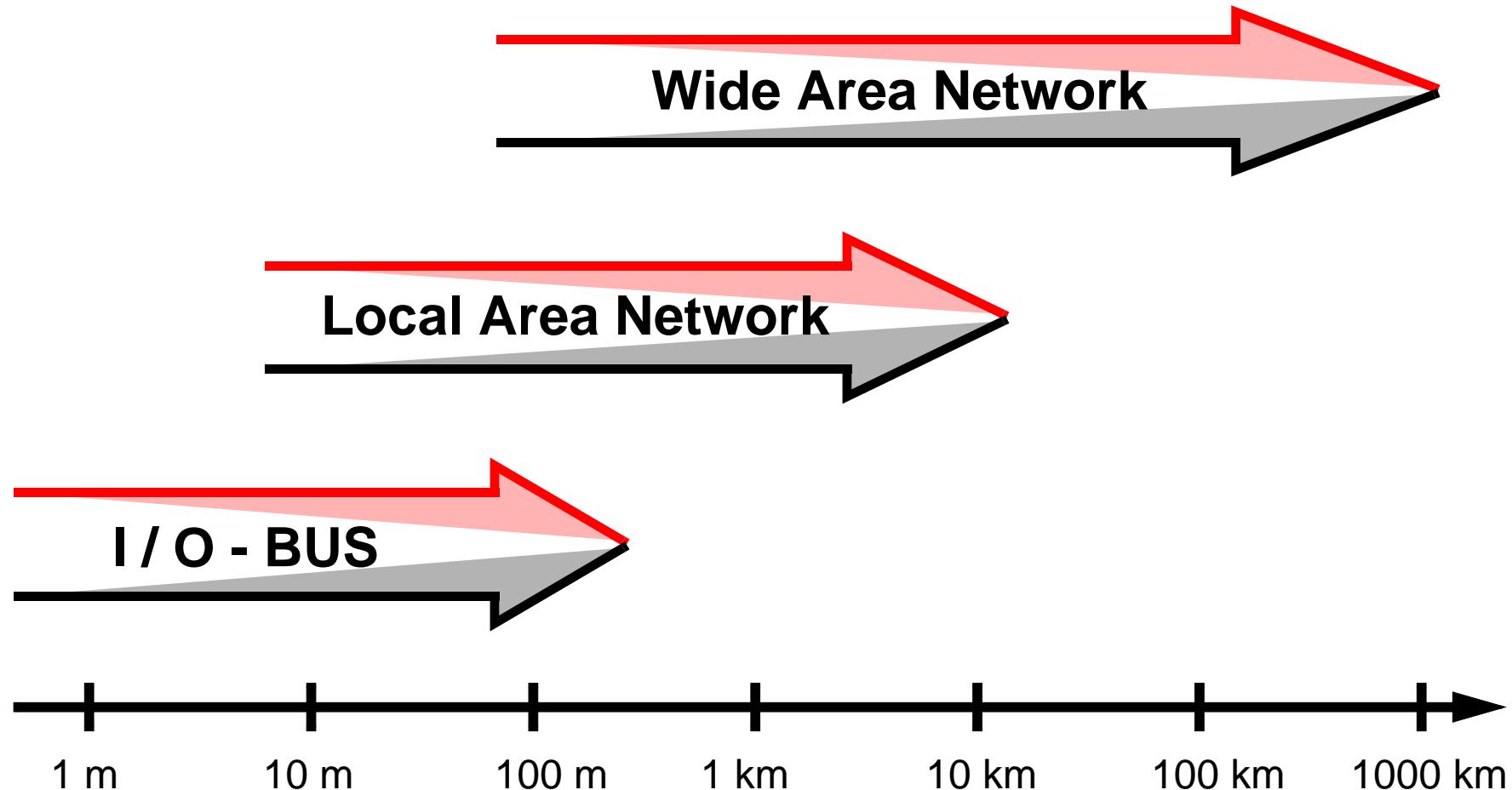


## 5.9.2 MRAM 2



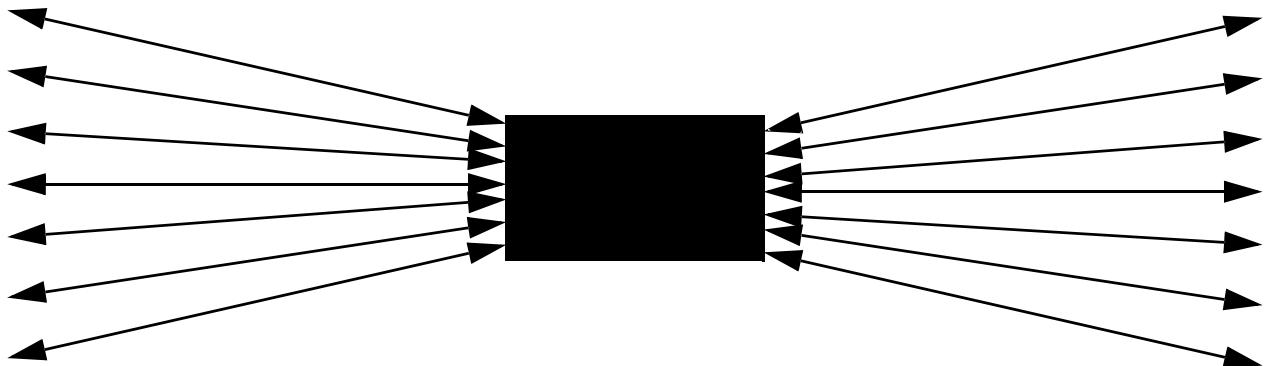
**Tunneleffekte** (Animation bei [www.research.ibm.com/resources/news/20030610\\_mram.shtml](http://www.research.ibm.com/resources/news/20030610_mram.shtml))  
 Spinpolarisation: Es tunneln einzelne, entsprechend ausgerichtete (spinpolarisierte) Elektronen  
 Supra-Leitung: Es tunneln Elektronenzwillinge (Cooper-Paare) mit Spin up/Spin down  
 MRAM jetzt auch zum Rechnen, da dynamisch als AND, NAND, OR, und NOR schaltbar  
 (= Chamäleon-Prozessor) mit zwei zusätzlichen Leitungen

## 6.1 Leitungskonzepte

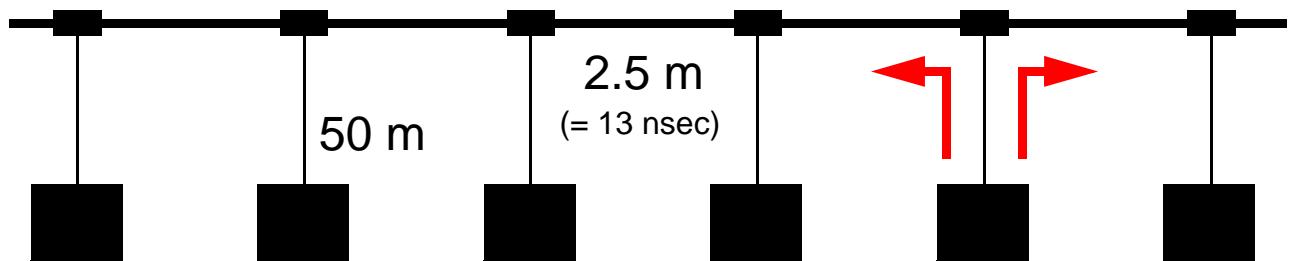


## 6.1.1 Basisband-Konzepte

**Stichleitung:** Leitungslänge gering (10-100m), Bandbreite gering, meist asynchron



**Bus-Strukturen (Ethernet Thick LAN):** Leitungslänge (max 500m/Segment), Bandbreite besser, Zahl der Teilnehmer begrenzt (Abstand auf der Leitung vorgegeben, 100 Anschlüsse/Segment)-



**Ringleitung (Token Ring):** Leitungslänge vorgegeben, Bandbreite, Zahl der Stationen begrenzt



## 6.1.2 Leitungskonzepte

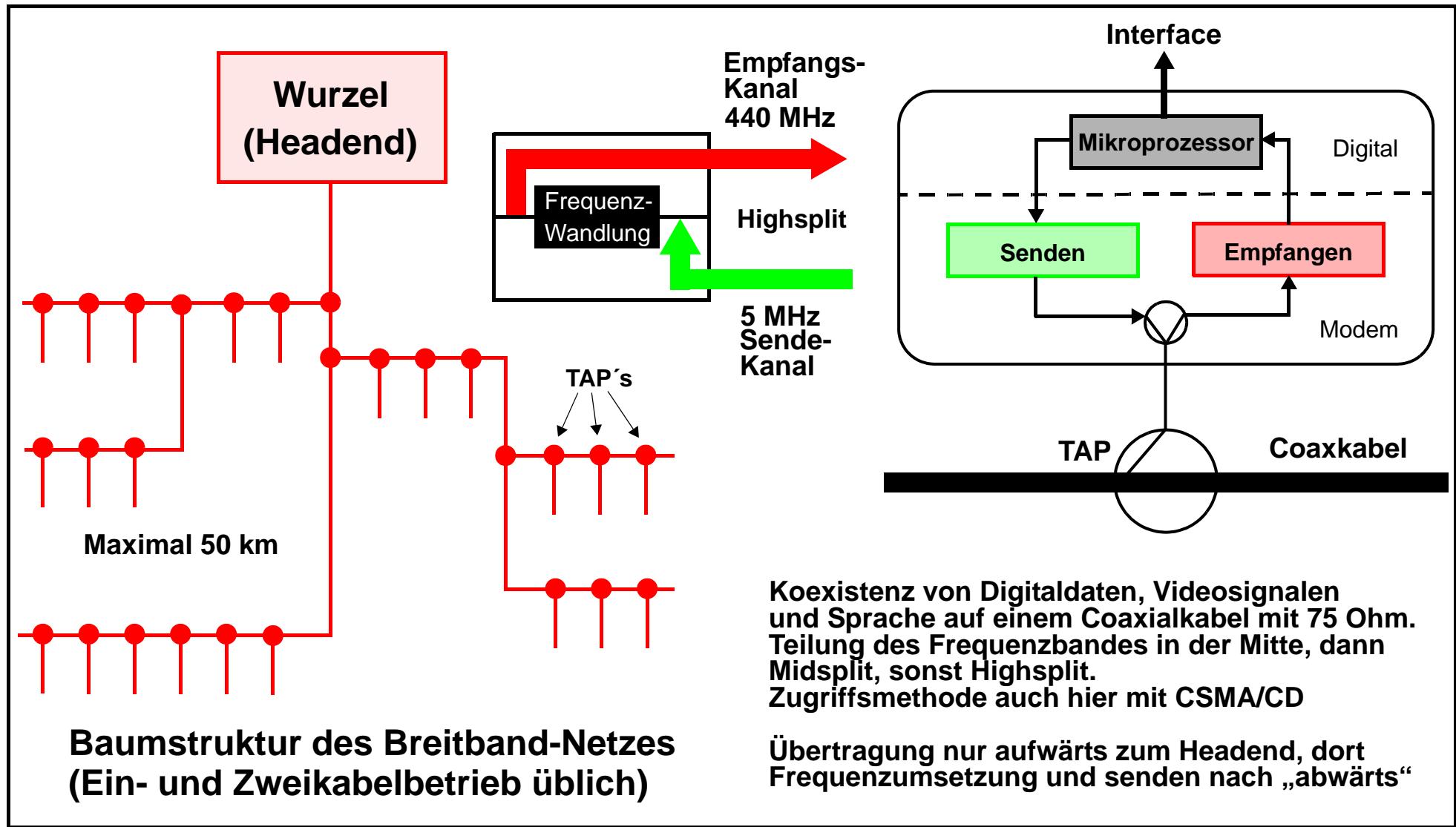
- **Sequentiell:** meist CCITT V.24 (EIA RS-232C), Spannungs- oder Stromschleifentechnik, synchron oder asynchron, Protokoll: X-On / X-OFF, Datenrate liegt zwischen 110 Baud (bit/s) und 19.2 KBd
- **Twisted Pairs** als Sonderfall zur Steigerung der Datenrate, angestrebt ist 64 KBd, manchmal auch bis 4 MBd (IEEE 802.3, IBM Token Ring), CDDI (Copper Distributed Data Interface, 100 MBd)
- **Coax-Kupfer:** Ethernet (IEEE 802.3,  $Z_r = 50 \Omega$ , 10 MBd), Token Ring (IEEE 802.3,  $Z_r = 92 \Omega$ , 1 - 16 MBd), Protokolle: CSMA/CD, TCP/IP
- **Parallel-Kupfer:** HP-IB (IEEE 488.2-1987), Spezialprotokoll, Steuerleitungen, Datenraten: 1 MBd / parallel (16-adrig) und 25 KBd / seriell (2-adrig)
- **Glasfaser:** Ethernet (oft in Verbindung mit Cu), FDDI (IEEE 802.5, als Token Ring, Fiber Distributed Data Interface 100 MBd, zwei gegenläufige Ringe), ATM (Asynchronous Transfer Mode, 130 - 2500 MBd, Backbone)
- **WLAN** nach IEEE 802.11: Meist als Karte in den PC oder als Hot Spot im Gelände

**Weiterführende Literatur:** A.S.Tanenbaum, Computer-Netzwerke, Prentice Hall Verlag, München 1997

**CCITT** = Comité Consultatif International de Télégraphique et Téléphonique

**CSMA/CD TCP/IP** = Carrier Sense Multiple Access / Transmission Control Protocol / Internet Protocol

## 6.1.3 Breitband-Netzwerke



## 6.1.4 „Rahmen“-Bedingungen

### HDLC (High Level Data Link Control)

Blockbegrenzung (Flag) <b>01111110</b>	Adressfeld 8 Bits	Kontrollfeld 8 Bits	<b>Datenfeld</b> N Bits	Blockprüffeld 16 Bits	Blockbegrenzung (Flag) <b>01111110</b>
---	----------------------	------------------------	----------------------------	--------------------------	---

Sendedaten in Schicht 1 0110**11111111111111111111**010

Gestopfte Daten in Schicht 2 01101111**0111110111110111110111110010**

Entstopfte Daten beim Empfänger 01101111111111111111111111111111010

### Ethernet (IEEE 802.3 1985a)

Präambel 7 Bytes	Beginn Rahmenbegrenzer 1 Byte	Ziel-adresse 2 oder 6 Bytes	Quell-adresse 2 oder 6 Bytes	Länge des Datenfelds 2 Bytes	<b>Datenfeld</b> 0-1500 Bytes	Pad 0-46 Bytes	Prüfsumme 4 Bytes
---------------------	----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	-------------------	----------------------

Präambel: **10101010...1010**, Rahmenbegrenzer: 10101011, Zieladresse: 1111...11 für Broadcast, Pad: Hilfsfeld, Prüfsumme: Spezialcode der Daten. Die Kollisionserkennung ist **analog**.

### Token Ring (IEEE 802.5 1985c)

Startbegrenzer 1 Byte	Zugriffs-Steuerung 1 Byte	Rahmen-Steuerung 1 Byte	Ziel-Adresse 2 oder 6 Bytes	Quell-Adresse 2 oder 6 Bytes	<b>Datenfeld</b> unbegrenzt	Prüfsumme 4 Bytes	Endbegrenzer 1 Byte	Rahmen-Status 1 Byte
--------------------------	------------------------------	----------------------------	--------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	----------------------	------------------------	-------------------------

Ohne Datenverkehr kreisen nur die ersten drei Bytes im Ring

## 6.1.5 Etwas zu Netzen

Die in 6.1.4 eingezeichneten Rahmenbits, bzw. -Bytes sind alle nach den Manchester-Verfahren codiert. Dieses wird offensichtlich als ausreichend sicher erachtet.

Wir wollen uns zuerst mit dem Frame für **Ethernet** (korrekterweise CSMA/CD, IEEE 802.3-Norm) befassen. Zu Beginn des Rahmens steht eine Präambel mit einer Folge von 1010... zur **Synchronisation** des Takts auf 10 MHz (daher auch Manchester-Codierung), die mit einer ...11 im Rahmenbegrenzer abgeschlossen wird. Damit ist jedem empfangenden Gerät bekannt, dass nun ein neuer Rahmen folgt. Es folgt die Ziel- (wird von der Vermittlungsschicht benötigt) und die Quell-Adresse (Achtung Häcker, damit kriegt man euch).

Zur weiteren Sicherheit folgt die Länge des Datenfeldes und dann dieses selbst. Falls das Datenfeld die Länge Null hat, wird mit dem Pad entsprechend aufgefüllt (warum überträgt man dann aber?). Abgeschlossen wird der Rahmen mit der vier Bytes langen Prüfsumme, die einen entsprechenden, fehlererkennenden Code (siehe dort) enthält. Der Fall, dass zwei Stationen gleichzeitig senden wollen, wurde schon besprochen, hier sei nur ergänzend angemerkt, dass die Kollision zweier Pakete auf der Leitung nicht digital, sondern analog erkannt wird durch die entsprechende Elektronik.

Wir können uns nun dem **Token Ring** zuwenden, der rein digital aufgebaut ist und auch einen etwas anderen Rahmen-Aufbau zeigt. Er wurde im selben Jahr genormt wie 802.3. Legen wir eine Signalgeschwindigkeit im Kabel mit etwa  $200.000 \text{ km.s}^{-1} = 200 \text{ m.}\mu\text{s}^{-1}$  zugrunde und eine Datenrate von  $1 \text{ MBit.s}^{-1}$ , so ist ein Bit gerade 200 m „breit“. Auf einem Ringumfang von 1 km haben dann zunächst nur 5 Bits Platz.

Nun wird aber im übertragungslosen Zustand je angeschlossene Station immer ein Bit des (3 Bytes = 24 Bits langen) Token „ausgeleitet“ in einen 1-Bit-Puffer und dann zurückgespeichert, dies bedeutet bei n Stationen eine Verzögerung um n Bits. Ein Token Ring kann also erst dann funktionieren, wenn der gesamte Token kreisen kann, in unserem obigen Beispiel müssen mindesten 19 (besser 20) Stationen angeschlossen sein.

Will nun eine Station senden, so wird nur ein spezielles Bit im drei Bytes langen Token invertiert, worauf sofort der Rahmenbeginn (grau unterlegt) vorhanden ist, man muss jetzt nur die übrigen Daten einfüttern. Sofort nach Senden der Zieladresse kann die betreffende Station den Datenstrom zu sich leiten, wobei das Datenfeld unbegrenzt ist. Das Ende des Transfers wird erst durch den Endbegrenzer und den Rahmenstatus erkannt. Nun kann auch die Prüfsumme zur Anwendung kommen.

Hat eine Station erfolglos gesendet, so kommen ja alle Bits wieder vorbei, sie werden „ausrangiert“ und ein neuer Token wird gebildet. Ansonsten muss die vorherige Empfangsstation den neuen Token aufbauen. Die Signale werden auch hier durch differentielle Manchester-Codierung verschlüsselt.

# 6.1.6 Fehler-Erkennung

## Zeichen- und Block-Parität

Buchstabe	Dezimal	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	VRC
H	72	1	0	0	1	0	0	0	1
a	97	1	1	0	0	0	0	1	0
m	109	1	1	0	1	1	0	1	0
m	109	1	1	0	1	1	0	1	0
i	105	1	1	0	1	0	0	1	1
n	110	1	1	0	1	1	1	0	0
g	103	1	1	0	0	1	1	1	0
LRC	----	1	0	0	1	0	0	1	1 / 1

LRC = Longitudinal Redundancy Check (Even Parity)

VRC = Vertical Redundancy Check (Odd Parity)

In obiger Tabelle ist die "normale" Parity (VRC) enthalten, z.B. im Falle des "i":

1 1 0 1 0 0 1 0 mit even Parity

1 1 0 1 0 0 1 1 mit odd Parity

1 1 0 1 0 0 1 - mit non Parity



Problem bei einfacher VRC-Übertragung besteht darin, dass nur 1-Bit-Fehler erkennbar sind, nicht aber 2-Bit-Fehler (diese heben sich in der jeweiligen Parity gegenseitig auf)

Fehlererkennung bedeutet noch  
lange nicht Fehlerkorrektur

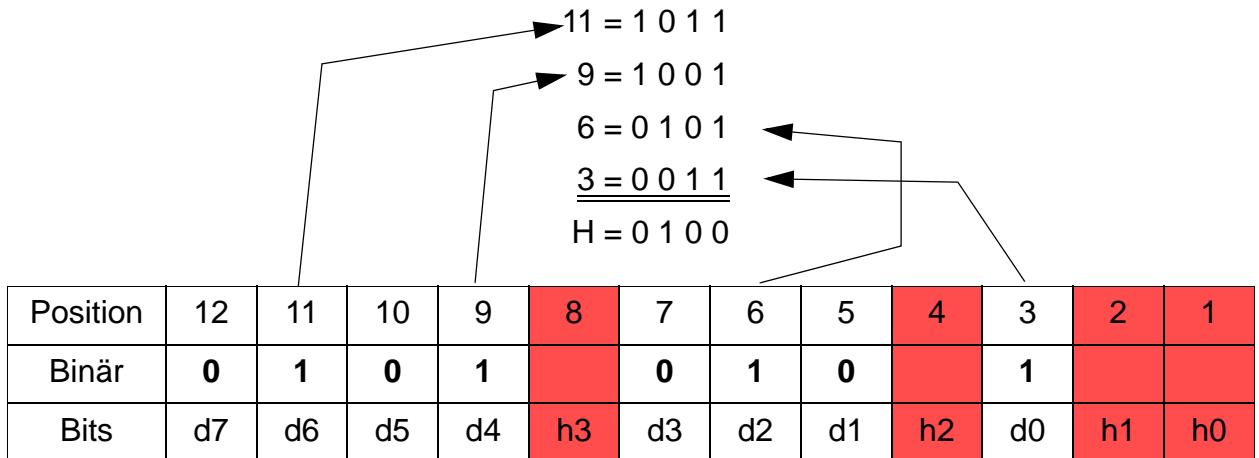
## 6.1.7 Fehler-Korrektur

### (12,8) Hamming-Codierung beim Sender

Beim Hamming-Code geht man ebenfalls wie beim HDLC von einer Art Bitstopfen aus, nur ist die Funktionalität eine ganz andere: Dabei werden die zu übertragenden Daten (ASCII-Zeichen U = 85 DEZ = 01 01 01 01) nach (12,8) codiert, d.h. vier Bits zusätzlich für die Fehlerkorrektur (Prüfbits) kommen an die Bit-Positionen  $2^3, 2^2, 2^1, 2^0$  (Pos. 8, 4, 2, 1 sind farbig unterlegt). 12,8 besagt, dass 12 Gesamtbits und 8 Datenbits verwendet werden und dass eine  $2^n$ -Folge zugrundegelegt wird bei den Hamming-Bits.

$$d_i = \text{Datenbits}, h_i = \text{Hamming-Bits}.$$

Jede Position von  $d_i$ , die eine „1“ enthält, wird jeweils in ihre Binärfolge  $2^n$  zerlegt und untereinander geschrieben, sodann mit XOR (siehe Kapitel 3.4.5) verknüpft.



Die oben erhaltene Prüfsumme von 0 1 0 0 wird in die Tabelle an den Stellen für h3, h2, h1 und h0 eingesetzt und mit dem Code verschickt als Bitfolge 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0

### Hamming-Decodierung beim Empfänger

Beim Empfänger werden **alle** Positionen im Bitstrom, die eine „1“ enthalten, in die Binärfolge der Position umgewandelt und mit XOR addiert

$$\begin{array}{r}
 11 = 1 0 1 1 \\
 6 = 0 1 0 1 \\
 4 = 0 1 0 0 \\
 \hline
 3 = 0 0 1 1 \\
 \hline
 H = 1 0 0 1
 \end{array}$$

Position	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Binär	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
Bits	d7	d6	d5	d4	h3	d3	d2	d1	h2	d0	h1	h0

Da  $H = 9$  (statt 0000) als Ergebnis erhalten wurde, ist Bit 9 falsch, da es „0“ ist, muss auf „1“ korrigiert werden. Der ganze Vorgang erfolgt mit entsprechender Hardware.

## 6.1.8 Fehler-Korrektur

### CRC-Berechnung mit CRC-8 ( $x^8+x^2+x+1$ )-Polynom beim Sender (Cyclic Redundancy Check, Polynom identisch bei Sender und Empfänger)

Daten (ASCII-Zeichen U) → 1010101 → 1010101 0 0 0 0 0 0 0 0 (+ 9 Nullen wg. CRC-8)  
 CRC-8-Polynom → 1 0 0 0 0 0 1 1 1

$$\begin{array}{r} 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 : \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 = \text{Rest} \end{array}$$

Polynom-Division

$$\rightarrow 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \text{ wird gesendet}$$

ASCII 'U' + Rest

### CRC-Überprüfung mit CRC-8 ( $x^8+x^2+x+1$ )-Polynom beim Empfänger (Polynom identisch bei Sender und Empfänger)

Daten (ASCII-Zeichen U) → 1010101 → 1010101 0 0 1 0 1 1 1 1 1 (+ 9 Stellen wg. CRC-8)  
 CRC-8-Polynom → 1 0 0 0 0 0 1 1 1

$$\begin{array}{r} 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 : \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 = \text{Rest} \end{array}$$

Polynom-Division

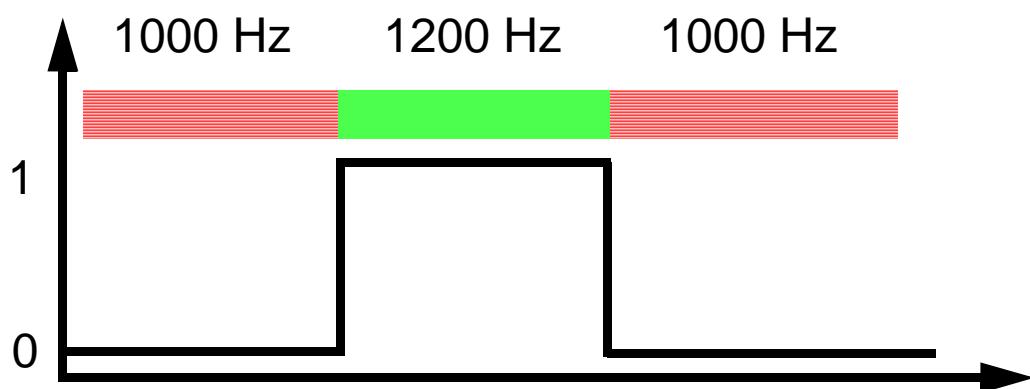
**Somit fehlerfreie Übertragung**

## 6.1.9 Modems

### Modulator - Demodulator (u.a für V.24)

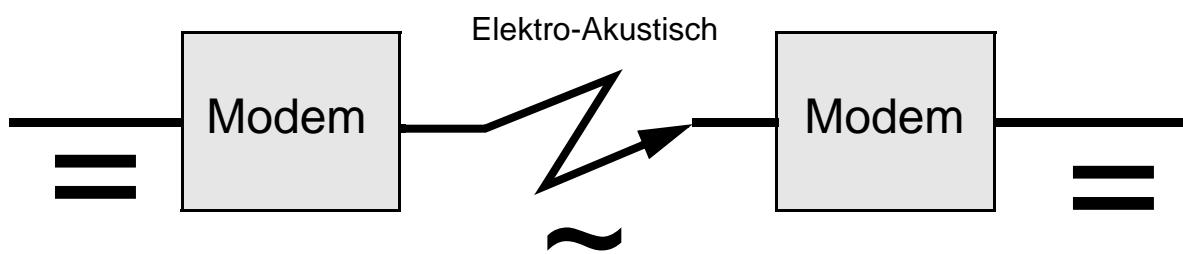
#### Modulator

Umsetzen eines elektrischen Gleichspannungs-Signals in ein akustisches Wechselspannungs-Signal



#### Demodulator

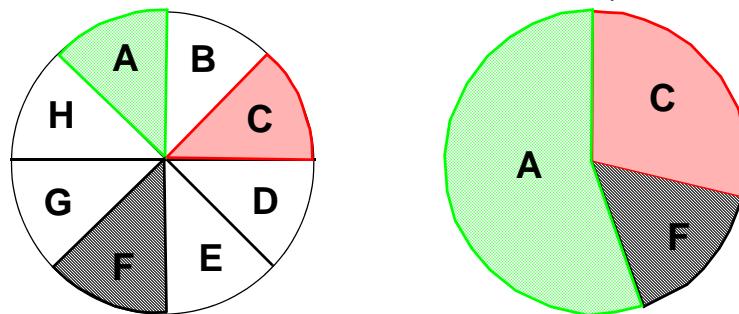
Umsetzen des übertragenen akustischen Wechselspannungs-Signals in ein elektrisches Gleichspannungs-Signal



## 6.1.10 Multiplexer

- **Statische Multiplexer (linke Zeitscheibe)**

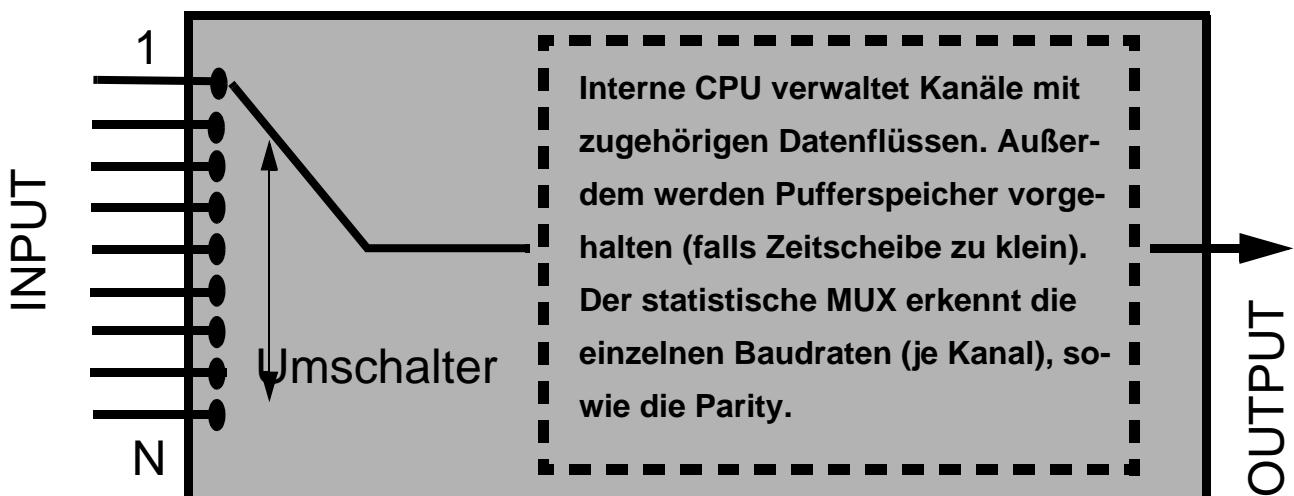
$N$  angeschlossene Teilnehmer erhalten gleichmäßige  $1/N$  der Zeitscheibe, unabhängig von der Zahl der aktiven Teilnehmer (sehr ineffizient)



**Beispiel für  $M = 3$ :**  
 A: 19.2 KBd, No Parity  
 B: 9600 Bd, Even Par.  
 C: 4800 Bd, Odd Par.

- **Statistische Multiplexer (rechte Zeitscheibe)**

Von  $N$  angeschlossenen Teilnehmern sind  $M < N$  aktiv. Auf diese  $M$  Teilnehmer wird die verfügbare Zeitscheibe nach Notwendigkeit (also evtl. auch ungleich) aufgeteilt. Der Rest (nichtaktive Teilnehmer) erhält nichts.



$N$  Leitungspaare werden auf ein Paar reduziert

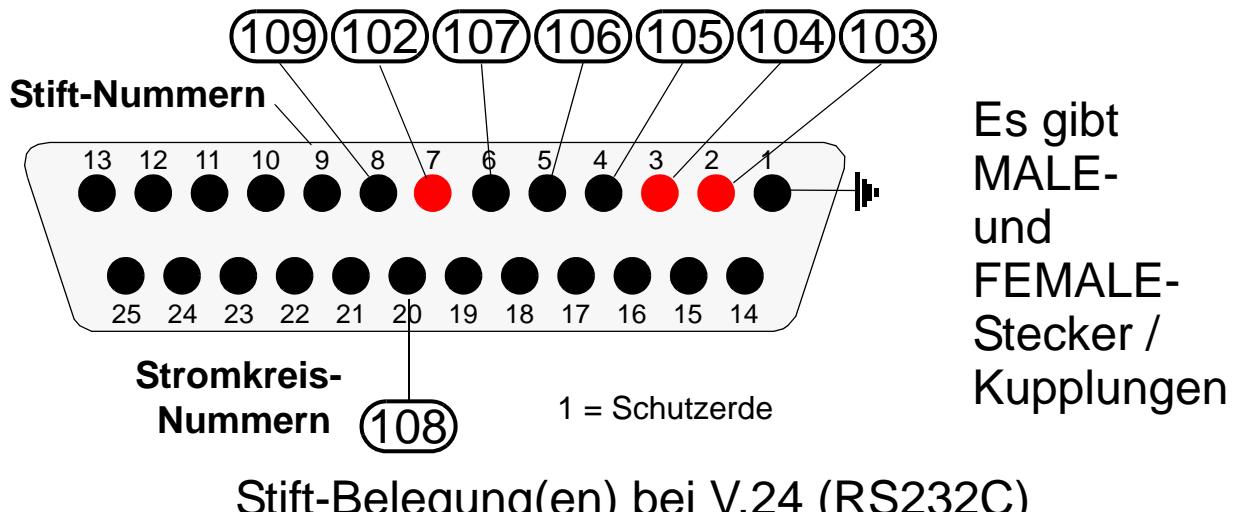
- **Anwendungen**

Ein Rechner hat  $N$  Ein-/Ausgänge und  $N$  Teilnehmer, aber nur eine Modemstrecke. Mit 2 MUXEN und zwei Modems sind alle Teilnehmer anschließbar.

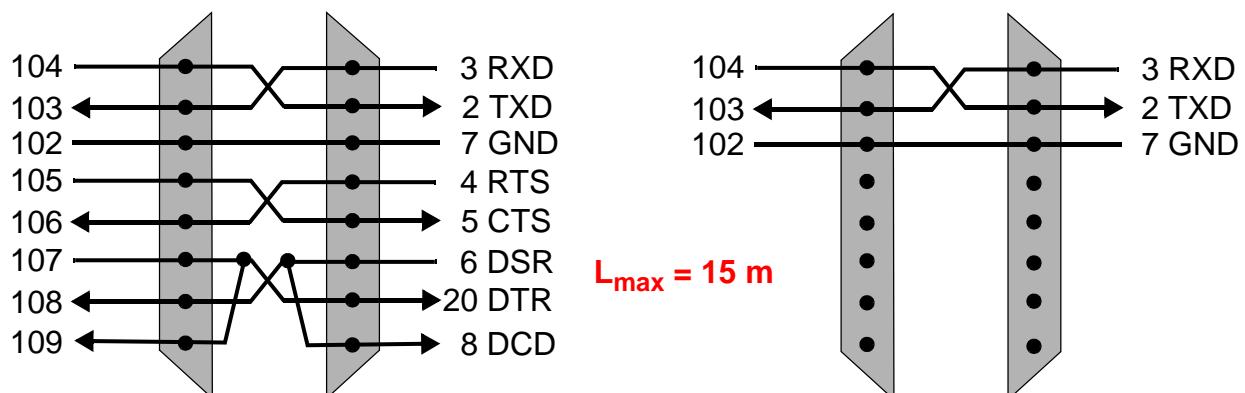
Auch bei Glasfaserstrecken: DWDM = **Dense Wave Division Multiplexing**, je Kanal bis zu 2.5 Gbps/s und mindestens 200 Kanäle, somit 500 Gbps möglich.

## 6.2.1 Die V.24-Schnittstelle

Normung nach **Electronics Industry Association** (USA: EIA RS-232C) oder **International Telegraph and Telephone Consultative Committee** (CCITT V.24): Es genügen die drei angezeigten Leitungen für eine geordnete Vollduplex-Datenübertragung (unten rechts). Früher viel benutzt im Mainframe-Bereich für nicht grafikfähige ASCII-Terminals. Unten links ist eine Rechner-Rechner-Kopplung mit Handshake + Betriebsbereitschaftsanzeige skizziert.



104 = Receive Data	RDX	3 = Empfangen	Steckerabmessungen nach <b>ISO 2210</b>
103 = Send Data	TXD	2 = Senden	Signalspannungen nach <b>V.28</b> ( $>\pm 3$ V)
102 = Signalground	GND	7 = Signalerde	Signal-Interpretation nach <b>V.24</b>
105 = Request to send	RTS	4 = Empfangsbereit	Amerikanisches Äquivalent: RS232C
106 = Clear to send	CTS	5 = Sendebereit	
107 = Dataset ready	DSR	6 = Modem bereit	
108 = Dataterminal ready	DTR	20 = Terminal bereit	
109 = Data Carrier detected	DCD	8 = Modemton	Varianten mit 15 oder 9 Stiften
<b>Sender</b>		<b>Empfänger</b>	

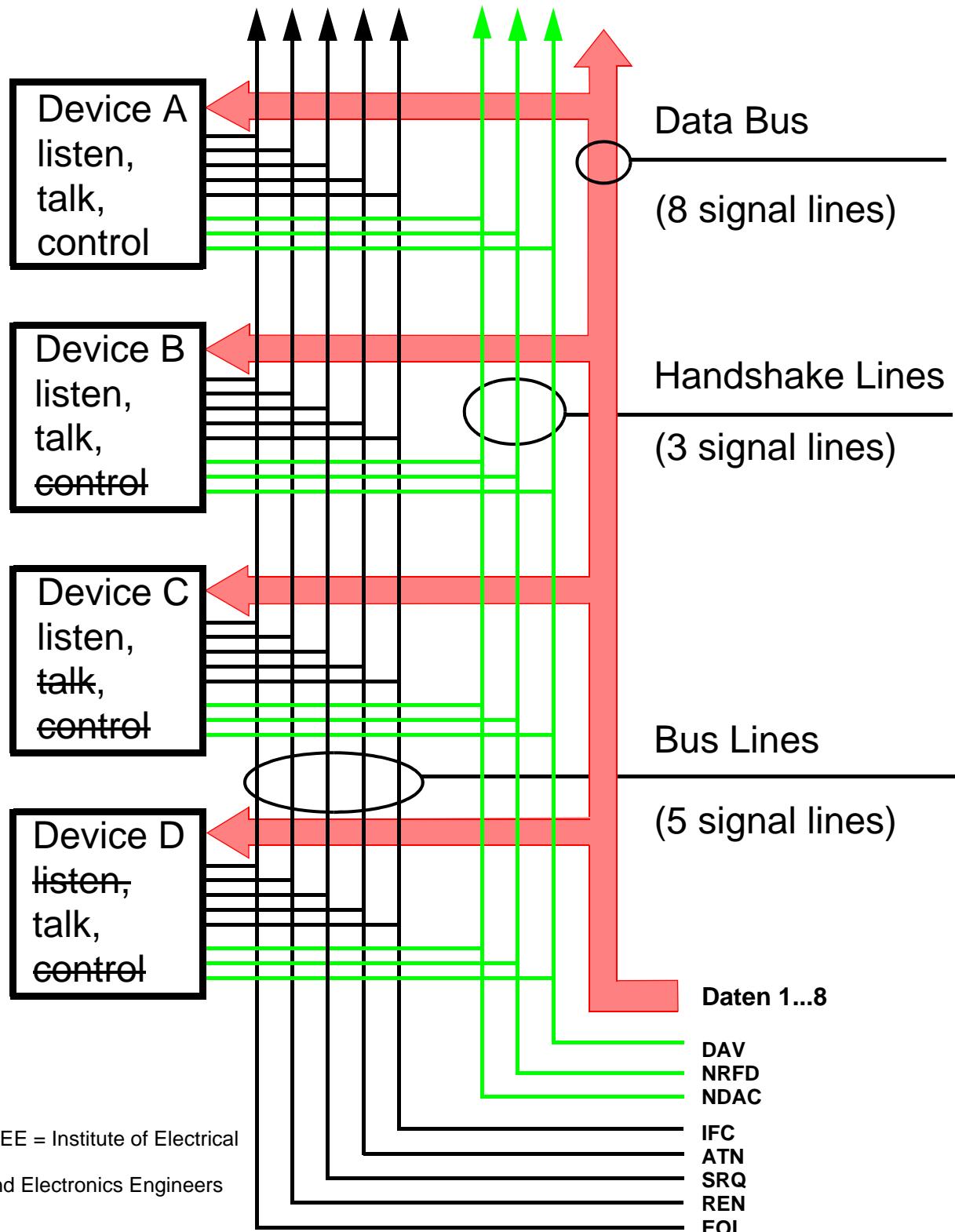


Host-to-Host mit Handshake und Betriebsbereitschaft

V.24-Minimalausführung für Terminalanschluss

## 6.2.2 HP-IB (IEEE 488.2-1987)

Bei diesem Buskonzept handelt es sich um ein Parallel-Prinzip, zusätzlich noch getrennt nach Daten- und Steuerleitungen. Es gibt aber auch das serielle Konzept HP-IL (Interface Link), dieser kann eine Gesamtlänge von 100 m aufweisen.



## 6.2.3 HP-IB = GPIB

### Stift-Belegung bei IEEE 488.2 (GPIB = HP-IB)

<b>DATA INPUT / OUTPUT 01</b>	DIO1	1	●	●	13	DIO5	<b>DATA INPUT / OUTPUT 05</b>
<b>DATA INPUT / OUTPUT 02</b>	DIO2	2	●	●	14	DIO6	<b>DATA INPUT / OUTPUT 06</b>
<b>DATA INPUT / OUTPUT 03</b>	DIO3	3	●	●	15	DIO7	<b>DATA INPUT / OUTPUT 07</b>
<b>DATA INPUT / OUTPUT 04</b>	DIO4	4	●	●	16	DIO8	<b>DATA INPUT / OUTPUT 08</b>
<b>END OR IDENTIFY</b>	EOI	5	●	●	17	REN	<b>REMOTE ENABLE</b>
<b>DATA VALID</b>	DAV	6	●	●	18	Gnd	Masseleitung zur Erde
<b>NOT READY FOR DATA</b>	NRFD	7	●	●	19	Gnd	Masseleitung zur Erde
<b>NOT DATA ACCEPTED</b>	NDAC	8	●	●	20	Gnd	Masseleitung zur Erde
<b>INTERFACE CLEAR</b>	IFC	9	●	●	21	Gnd	Masseleitung zur Erde
<b>SERVICE REQUEST</b>	SRQ	10	●	●	22	Gnd	Masseleitung zur Erde
<b>ATTENTION</b>	ATN	11	●	●	23	Gnd	Masseleitung zur Erde
<b>ABSCHIRMUNG für Kabel</b>	Shld	12	●	●	24	Gnd	Masseleitung zur Erde

24-pin Amphenol jeweils male/female

### Geräte-Anschluss-Technik durch PiggyBack

<b>DIO01 - 04</b>	1-4	
<b>DIO05 - 08</b>	13-16	
<b>EOI</b>	5	
<b>DAV</b>	6	
<b>NRFD</b>	7	
<b>IFC</b>	8	
<b>SRQ</b>	10	
<b>ATN</b>	11	
<b>REN</b>	17	
<b>Gnd</b>	24	
<b>Shld</b>	12	

Rechner (Controller)

Gerät A (Talker)

Gerät B (Listener)

Folegerät C

$L_{max} = 20m$

## 6.2.4 HP-IB

HP-IL = Seriell (20 KB/s), Positive Logik für beide Arten (Pegel Low = true, High = false), Datenrate = 8 MBytes/s

IEEE 488 = IEC 625 = HP-IB = GPIB = ANSI

Controller (**nur einer**, meist Rechner), Talker (meist auch nur einer), Listener (dann wohl bis zu 29 Stück)

Anschliessbar: Drucker, Plotter, Plattenspeicher, Floppydisk, Digitizer, Messgeräte wie Digitalvoltmeter (steuerbare Messbereiche, usw.), Streamertape, Magtape

Kabelanschlüsse werden auf einander verwendet (bis zu 10 Stück) oder an jedem angeschlossenen Gerät weiter durchgeschleift

31 Geräte anschliessbar, jedes Gerät hat ein „Mäuseklavier“ für die Einstellung der Adresse

# 6.2.5 HP-IB (IEEE 488)

## (Interlocking)-Handshake-Leitungen

Diese dienen der Steuerung des Datenverkehrs. Der Talker muss mit den Listeners zeitlich abgestimmt werden, dass er sie nicht überholt. Listeners setzen daher NRFD auf High, wenn sie bereit für die Übernahme von Daten sind, andernfalls NRFD = Low. Bei mehreren Teilnehmern bleibt NRFD solange Low, bis alle bereit sind. (Aktives Low überstimmt passives High).

**Data Valid (= DAV)**

**Not Ready for Data (= NRFD)**

**Not Data Accepted (= NDAC)**

Wenn der Talker feststellt, dass alle Geräte bereit sind, dann legt er das nächste Byte auf den Datenbus und setzt gleichzeitig DAV auf Low. Damit wissen alle Listener, dass eine Information lesebereit für sie auf dem Bus liegt. Jeder Listener liest die Daten (eigentlich ja nur ein Byte) und setzt danach NDAC auf High. Wenn NDAC von allen Teilnehmern auf High gesetzt wurde, dann weiss der Talker, dass die Daten komplett ausgelesen sind. Der Talker setzt dann DAV auf High und der nächste Transfer-Kreislauf wird eingeleitet.

## Bus-Kontrolle

### Die Attention Leitung (= ATN)

Die Kommandos werden als 7-Bit-ASCII codiert auf den Datenleitungen verschickt und können durch den Pegel von ATN von normalen Daten dadurch unterschieden werden, dass ATN = true. In diesem Fall kann das Set von 128 ASCII-Zeichen in vier Klassen eingeteilt werden durch den Status der beiden Datenleitungen **DIO6** und **DIO7** (advanced Bus Management). Nur der einmal vorhandene Controller kann ATN auf true setzen.

### Die Interface Clear Leitung (= IFC), dies entspricht einem totalen RESET

Auch diese Leitung kann nur durch den Controller auf true gesetzt werden. Dadurch werden alle Talker und Listener sofort unadressierbar (override). Diese Möglichkeit ist nur vorhanden, damit der Controller jeglichen Verkehr beenden und selbst die „Herrschaft“ übernehmen kann.

### Die Remote Enable Leitung (= REN)

Solange REN = true, ist jedes adressierte Gerät durch den Controller programmierbar (z.B. Digitalvoltmeter erhält anderen Messbereich)

### Die End Of Identify Leitung (= EOI)

Identisches Problem zu HDLC. Wenn in einem Datenstrom (Blocktransfer) das Endezeichen LF = CHR(10) enthalten ist, dann markiert EOI = High das Ende.

**Service Request (= SRQ);** Asynchroner Verkehr, gesteuert durch Controller und angeregt vom untergeordneten Gerät (EOI + ATN zur Adressermittlung)

## 6.2.6 Sonstige Bus-Konzepte

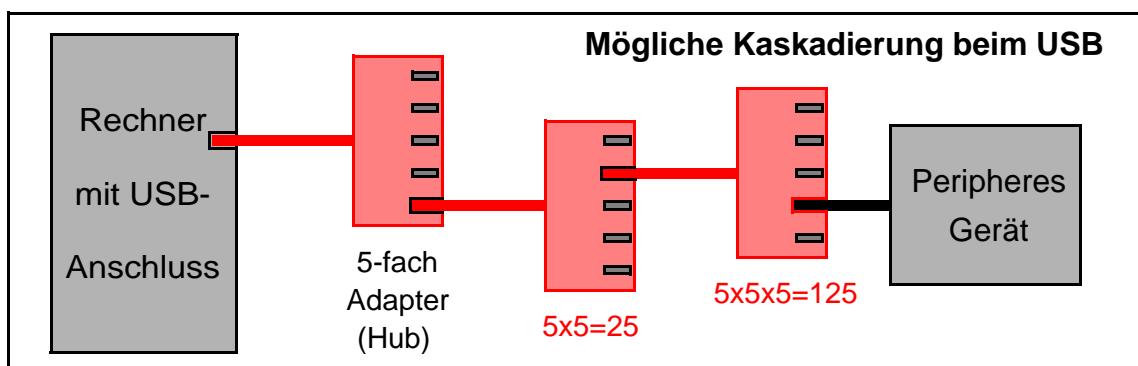
**SCSI3** (Small Computer Systems Interface): Schneller Bus für Plattspeicher, CD-ROMs, Bandlaufwerke. Ursprünglich 8 Bit breit, heute Datenpfadbreite von 16 Bit (parallel, es ist auch ein serieller Bus am Markt). Der Datentransfer erfolgt entweder synchron (mehrere Bytes als Block, dann Bestätigung) oder asynchron (jedes Byte einzeln → langsamer).

- Abwärtskompatibel zu SCSI1, bzw. 2, diese sind die „historischen“ Vorläufer der heutigen, schnelleren Generation
  - Anzahl anschließbarer Geräte: max. 16
  - Maximale Buslänge: 24 m
  - Datentransferrate: 320 Mbits/s (= 40 MBytes/s)

Im Gegensatz zum USB muss hier der Treiber selbst installiert werden.

**USB 2.0 (Universal Serial Bus):** Neuer Schnittstellenstandard mit automatischem Erkennen der Peripheriegeräte beim Anschliessen („Einstöpseln“ = hot plug). Dadurch automatisches Installieren der Treibesoftware durch den Controller.

- Möglich durch Kaskadieren mit entsprechenden Adapters (USB-Hubs), da Rechner meist nur 2, höchstens 4 USB-Anschlüsse (ports) aufweisen (siehe nachfolgende Abbildung für Fünfer-Kaskade).
  - Anzahl anschließbarer Geräte: max. 127.
  - Mit entsprechenden Vorkehrungen sind auch Kabellängen bis ca. 30 m machbar, normalerweise werden kurze Kabelstücke von 50 cm bis ca 1.2 m eingesetzt.
  - Datentransferrate: USB 2.0 bis zu 480 Mbits/s (= 60 MBytes/s)



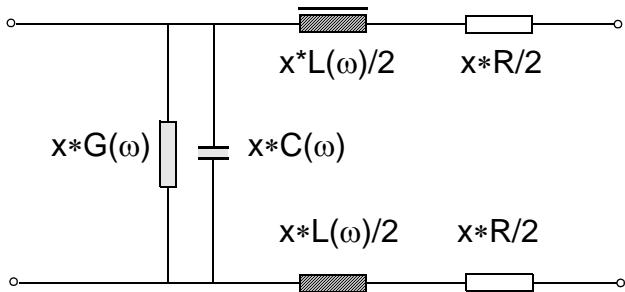
**Firewire 1394**-1995 (Normung nach IEEE). Konkurrenz zu USB und Fibre Channel (Cu-based).

- Maximale Datenrate 3.2 Gbits/s (= 400 MBytes/s)
  - Höchstlängen der Kabel: Glasfaser 100 m, Copper Twisted Pair 4.5 m.
  - Daisy-Chain-Anschluss für bis zu 16 Geräte

Welches der Buskonzepte sich längerfristig durchsetzen wird, ist derzeit noch offen. Zur Zeit ist eine Koexistenz vorhanden, die sich bestimmt durch neue Konzepte verschieben wird.

## 6.2.7 Coaxial-Kabel (Physik)

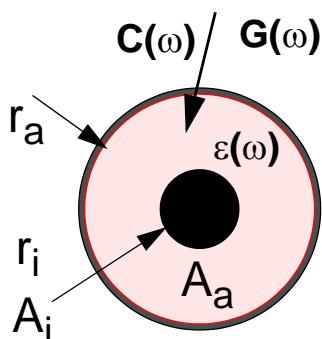
Ersatzschaltbild einer Fernleitung der Länge x:



C, L, R(Cu), G sind jeweils auf die Einheitslänge x bezogen

G ist der „Querwiderstand“ des Dielektrikums im Kabel ( $1/R_{\text{diel}}$ )

Geometrie- und Frequenzabhängigkeiten:



Frequenzabhängige **Kapazität** des Kabels der Länge x:

$$C(\omega) = \frac{(2\pi\epsilon_0\epsilon_r(\omega))}{\ln(r_a/r_i)}$$

Frequenzabhängige **Induktivität** auf der Kabellänge x:

$$L(\omega) = \frac{(\mu_0\mu_r(\omega))}{2\pi} \ln(r_a/r_i)$$

Frequenzabhängige **Dämpfung** auf der Kabellänge x:

$$\alpha(\omega) = \sqrt{\frac{1}{2} [G(\omega)R - \omega^2 L(\omega)C(\omega)] + \frac{1}{2} \sqrt{[R^2 + \omega^2 L^2(\omega)][G^2(\omega) + \omega^2 C^2(\omega)]}}$$

Frequenzabhängige **Ausbreitungsgeschwindigkeit**:

$$\left(\frac{1}{c_{\text{rel}}}\right)^2 = \frac{1}{2} \left[ L(\omega)C(\omega) - \frac{RG(\omega)}{\omega^2} \right] + \frac{1}{2} \sqrt{\left[ L(\omega)C(\omega) + \frac{RG(\omega)}{\omega^2} \right]^2 + \left[ \frac{RC(\omega)}{\omega} - \frac{L(\omega)G(\omega)}{\omega} \right]^2}$$

Nebenbedingungen: Es kann  $\mu_r = 1$  und unabhängig von  $\omega$  angenommen werden, es zählt nur  $\epsilon_r(\omega)$

## 6.2.8 Coaxial-Kabel (Technik)

---

- **Thin LAN (Cheaper NET)**

T-Stücke, d.h. das Kabel muß entweder in vielen kurzen Stücken mit dazwischengeschalteten T-Stücken (teuer !) verlegt werden, oder es muß geschnitten werden. Da dies im laufenden Betrieb nicht geht, bleibt nur die Abschaltung (z.B. nachts). RGB-Kabel

- **Thick LAN („Gelbes Kabel“)**

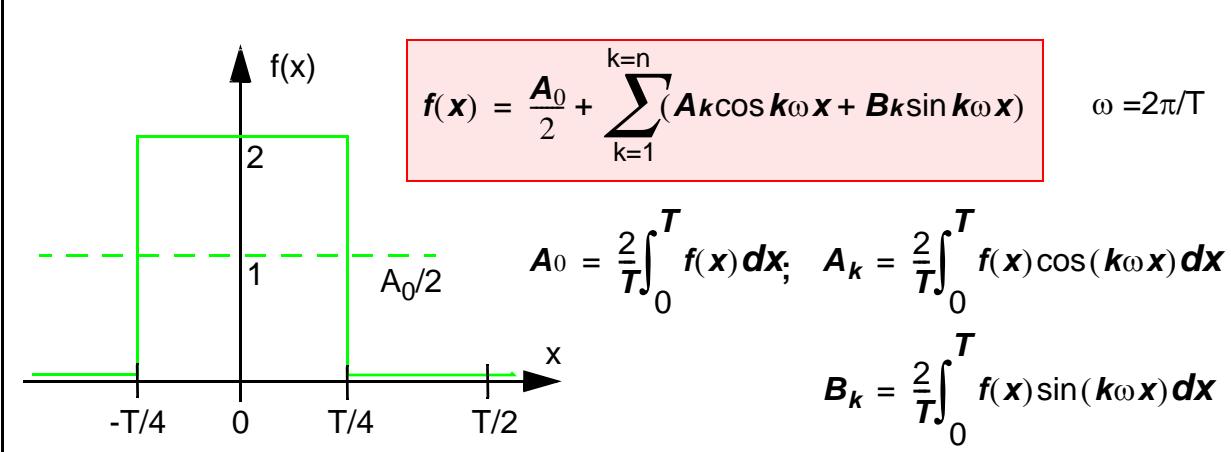
Anbohren mit Schablone. Zuerst Umhüllung, dann Geflecht (Abschirmung), zweiter Anlauf bis zur „Seele“ (man kann auch Durchbohren, dann steht das Netz auch). Dann wird ein Dorn Richtung innerem Leiter eingebracht und das PG läuft sofort. Verfahren mindestens „theoretisch“ im laufenden Betrieb möglich, oft Kurzschlußsuche.

- **Broadband**

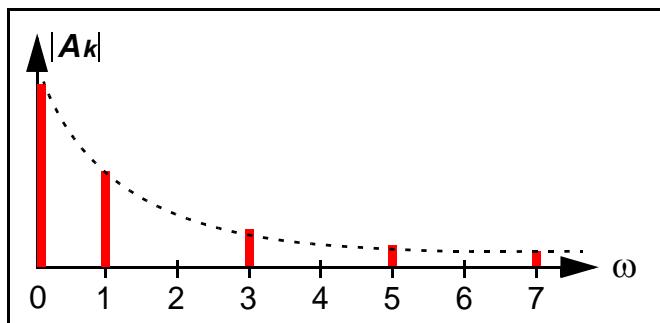
Coaxialkabel oder Wasserrohrtechnik (Klempner !), Verschraubungen, Technik stammt von CATV (1985)

---

## 6.2.9 Fourier-Analyse

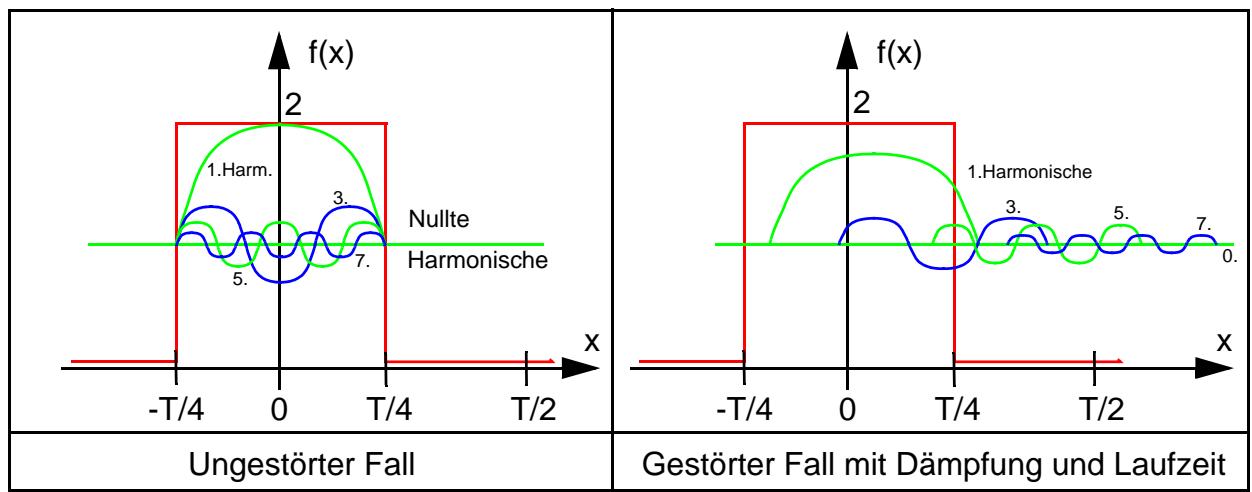


### Fourier-Zerlegung mathematisch



- Spektrale Verteilung der Vorfaktoren  $A_k$  -

### Fourier-Zerlegung physikalisch



Siehe auch bei Bandbreite

## 6.3 Glasfasern

Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum:

$$1/c = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$$

aus Fundamentalkonstanten

Lichtgeschwindigkeit im Medium:

$$c_{\text{rel}} = c_0 / n$$

n>1, dimensionsloser Zahlenwert

Maxwellsche Relation für den Brechungsindex

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$

beide dimensionslos

**Dispersion** (Exp., Materialgröße) : Lineare Abhängigkeit von  $n(\omega)$  im sichtbaren Bereich

**Rayleigh'sche Streuung** (experimentell und theoretisch) proportional zu  $\omega^4$  bzw.  $1/\lambda^4$

(Blau wird am stärksten gestreut, Himmelsfarbe, auch als Dämpfung zu betrachten)

Wellenwiderstand des Vakuums

$$Z_0 = \sqrt{(\mu_0)/(\epsilon_0)} = 377\Omega$$

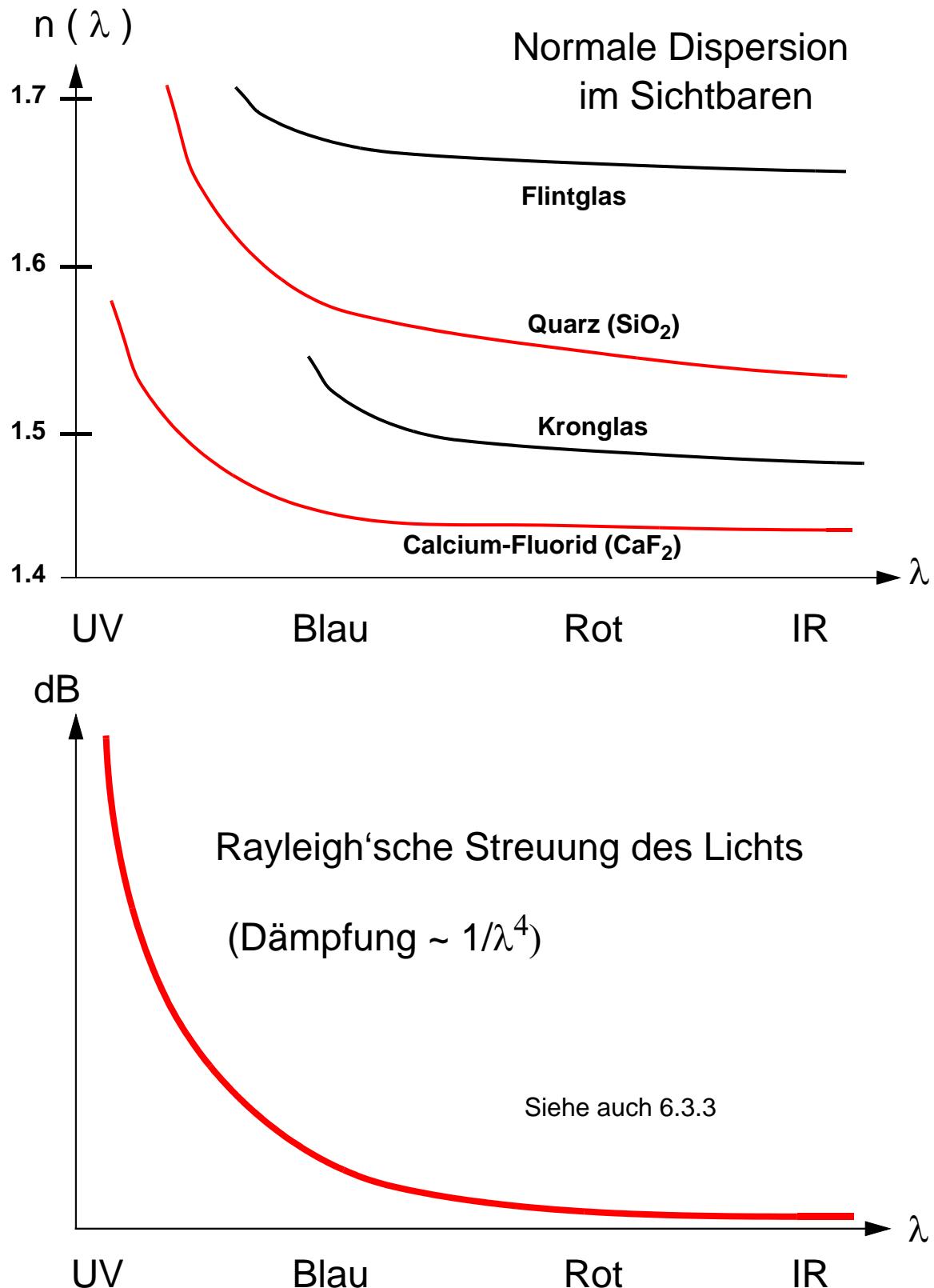
Wellenwiderstand des Mediums

$$Z_r = \sqrt{(\mu_r \mu_0)/(\epsilon_r \epsilon_0)}$$

aus Fundamentalkonstanten

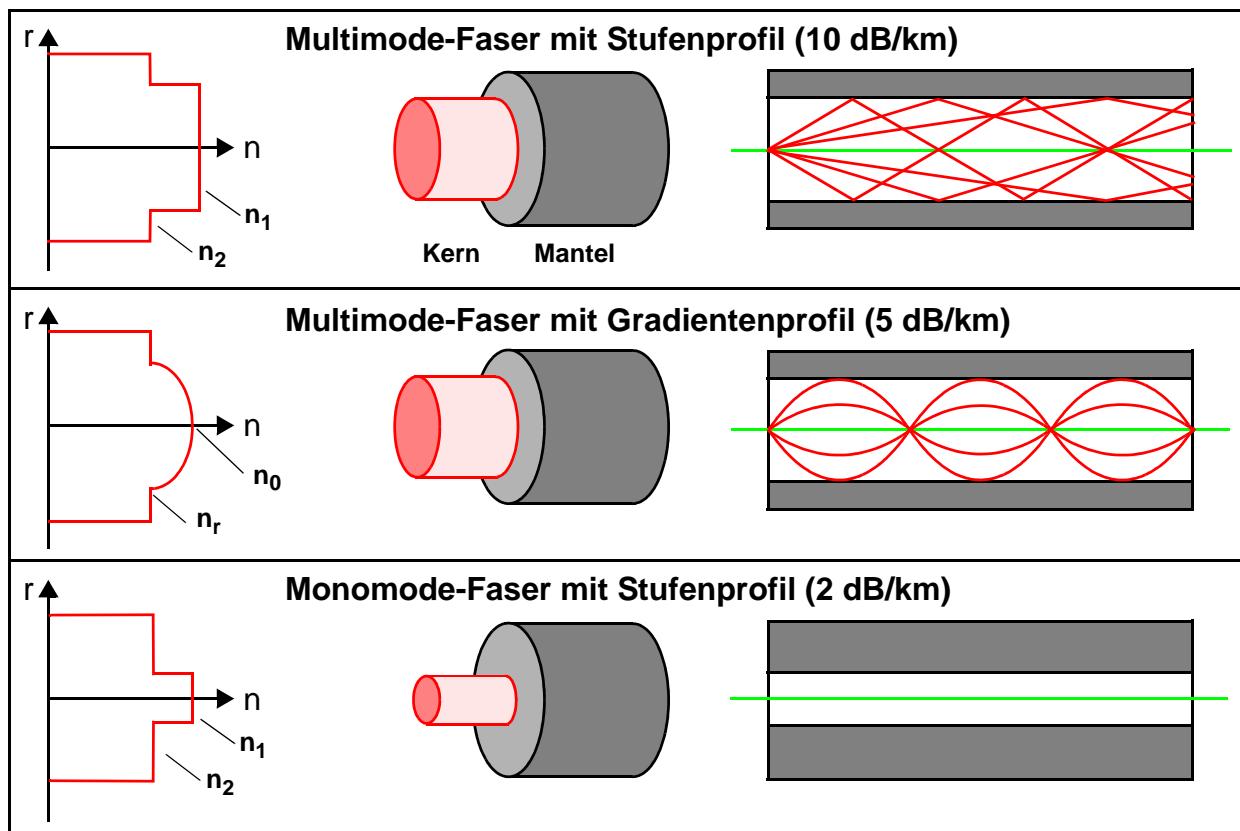
Materialabhängig

## 6.3.1 Glasfasern



## 6.3.2 Glasfasern, Einkopplung

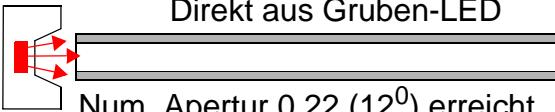
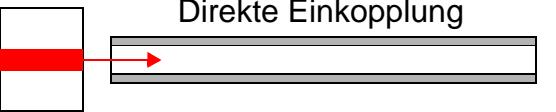
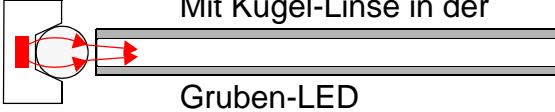
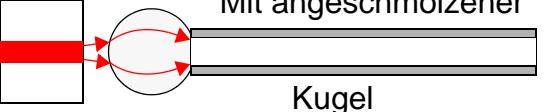
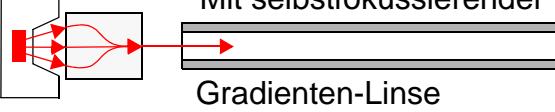
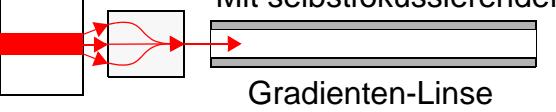
### Ausführungsbeispiele verschiedener Profile



12 Grad

### Einkopplungsarten in die Faser

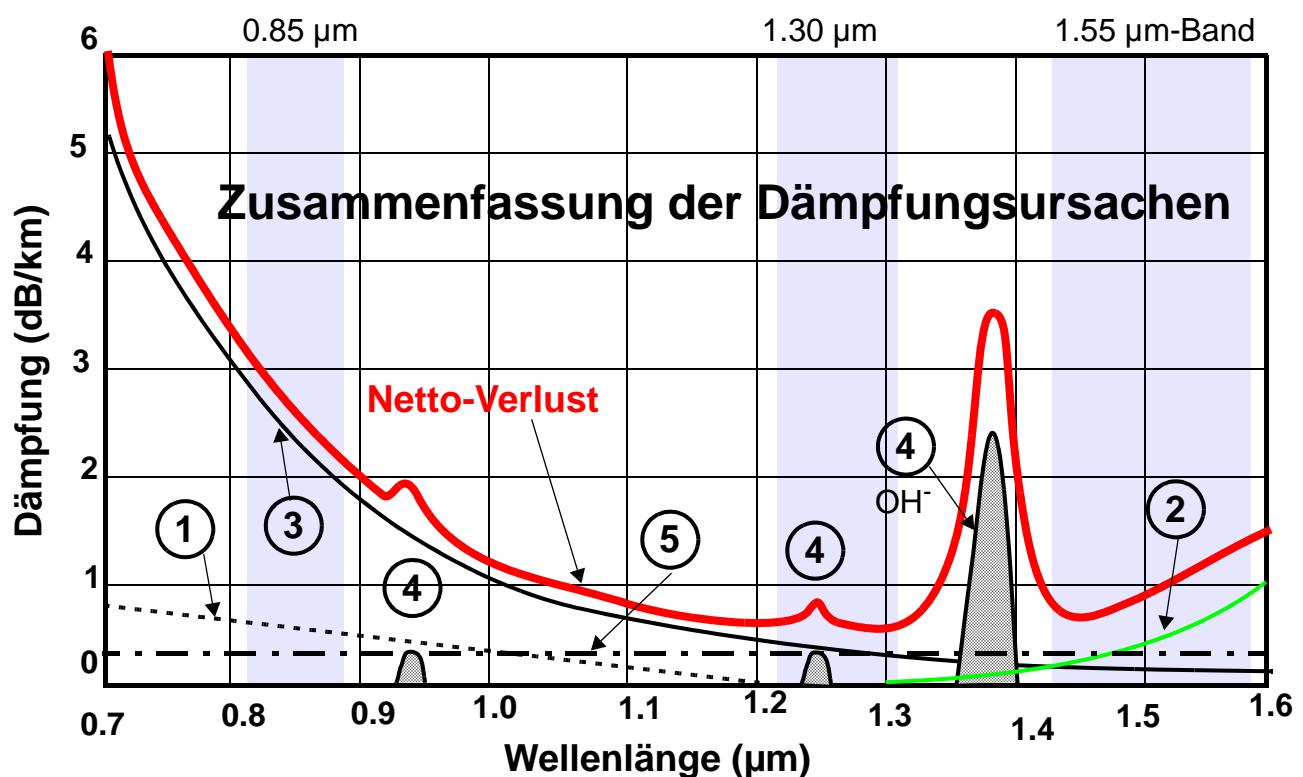
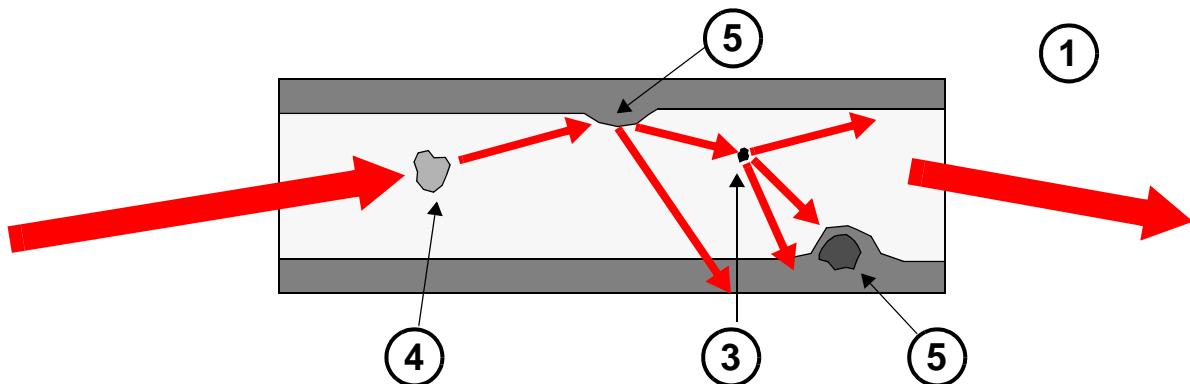
■ Optisch aktiver Bereich

Licht emittierende Diode (LED)	Laser-Diode (LD)
<p>Direkt aus Gruben-LED</p>  <p>Num. Apertur 0.22 (<math>12^\circ</math>) erreicht</p>	<p>Direkte Einkopplung</p> 
<p>Mit Kugel-Linse in der Gruben-LED</p> 	<p>Mit angeschmolzener Kugel</p> 
<p>Mit selbstfokussierender Gradienten-Linse</p> 	<p>Mit selbstfokussierender Gradienten-Linse</p> 

## 6.3.3 Glasfasern

### Verschiedene Ursachen der Dämpfung in der Faser

1. Ultraviolett-Absorption
2. Infrarot-Absorption
3. Rayleigh-Streuung (Luftbläschen)
4. Absorption an Verunreinigungen ( $\text{OH}^-$ -Problem)
5. Schwankungen in der Geometrie der Schichten



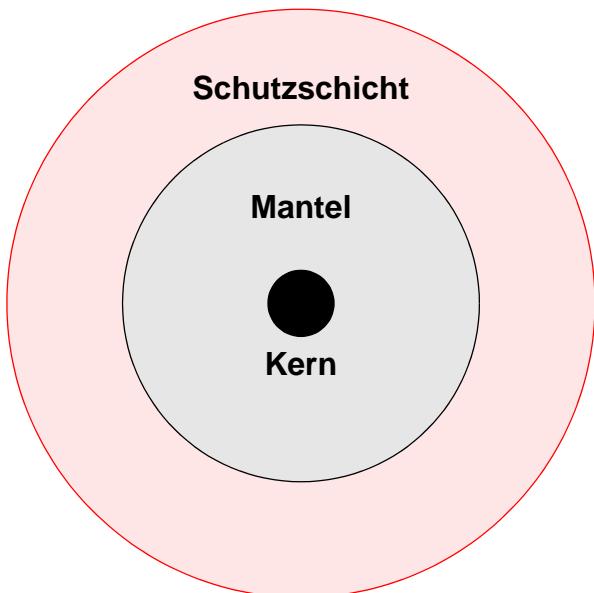
## 6.3.4 Glasfasern

### Dämpfungswerte durch OH<sup>-</sup>-Ionen

- 14 ppm: unbrauchbar (weit über 100 dB/km)
- 0.5 ppm: 30 dB/km
- 50 ppb: 3 dB/km (etwaiger Wert im vorigen Bild)
- 0.04 ppb: 0.1 dB/km (Traumwert, nur im Labor)

Je nach OH<sup>-</sup>-Ionen-Gehalt erfolgt eine Aufteilung in HOH- (High OH) und LOH- (Low OH) Fasern

### Querschnitt durch eine Glasfaser



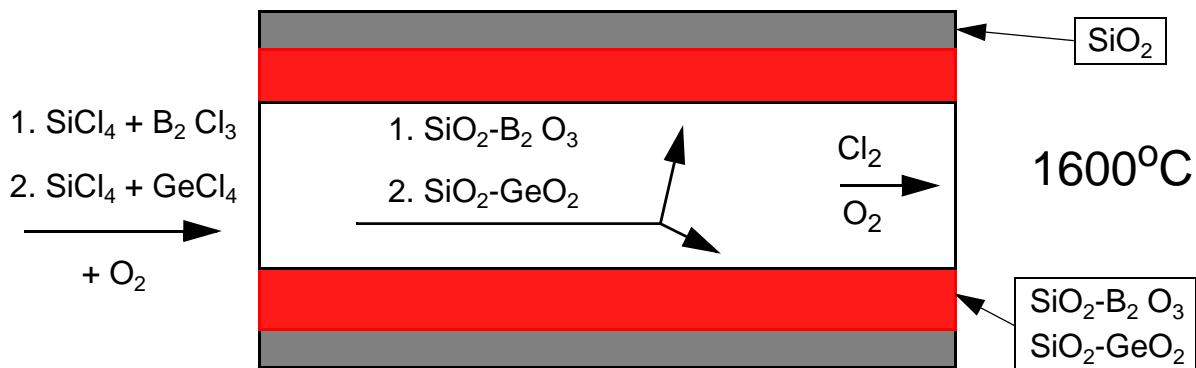
#### Kenndaten

- Faser (Kern): 9 - 200 µm  
Material: Reines SiO<sub>2</sub>
- Mantel: 125 µm  
Material: Glas mit niedrigem Brechungsindex
- Schutzschicht: 150-500 µm  
Material: Kunststoff / V2A-Geflecht
- Numerische Apertur: 0.22  
= Sinus des Öffnungswinkels

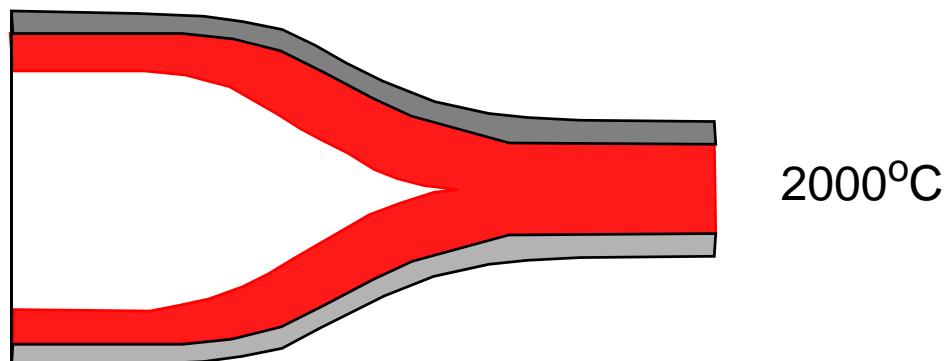
## 6.3.5 Glasfasern

### Herstellungsverfahren einer Gradientenfaser

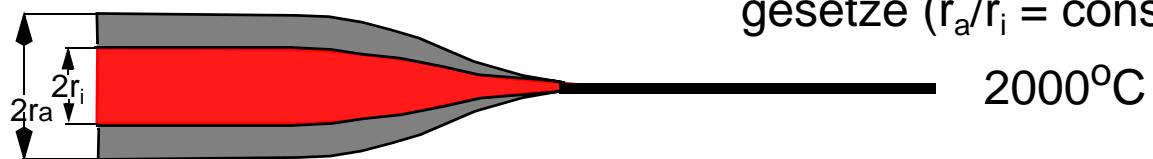
1. Schritt: Mischen des Gradientenprofils aus der Gasphase,  
Niederschlagen an der Wand von innen



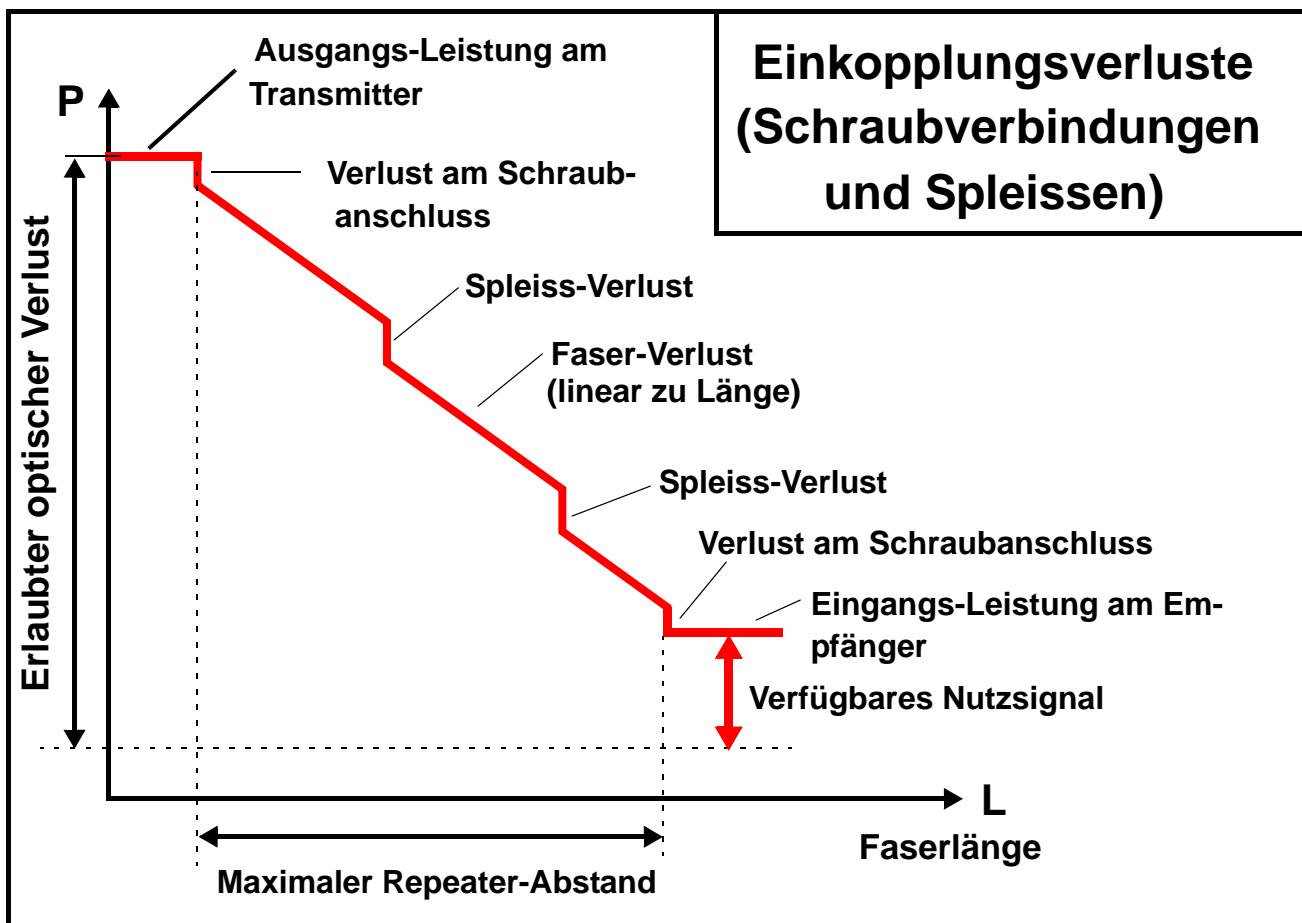
2. Schritt: Ziehen zum Massivprofil (Berührung und Verschmelzung der Innenflächen)



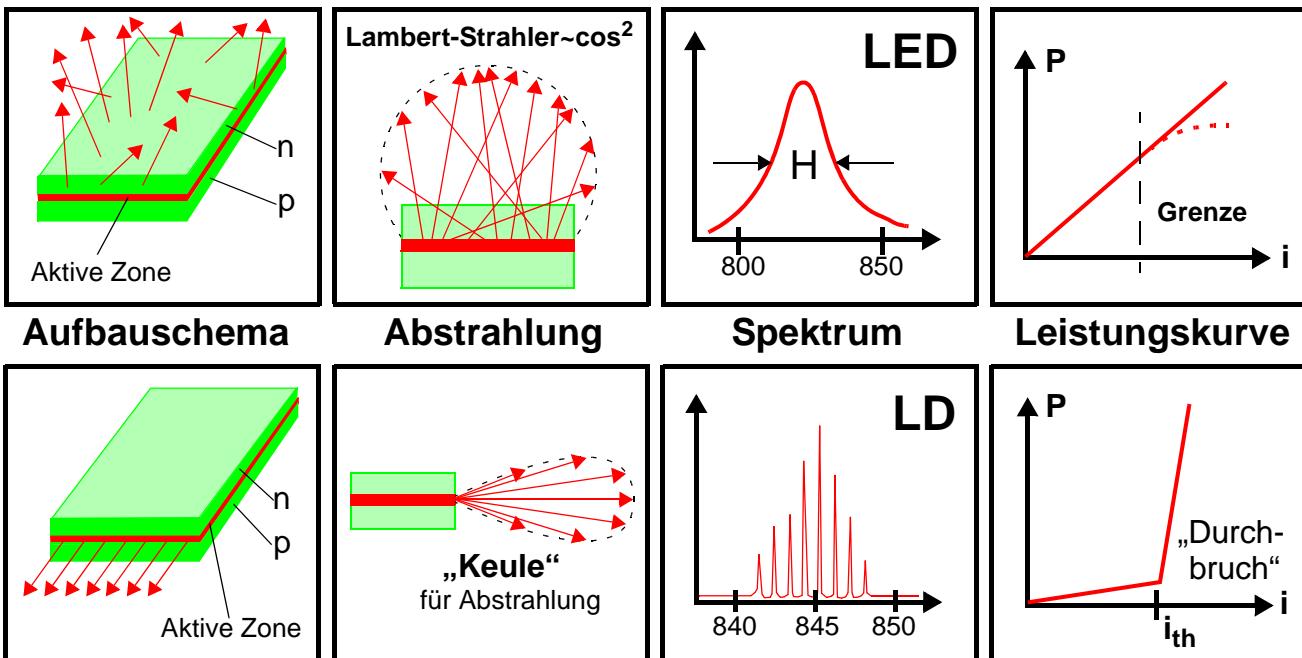
3. Schritt: Ausziehen auf gewünschten Außendurchmesser im Fallturm unter Erhaltung der Modellgesetze ( $r_a/r_i = \text{const}$ )



## 6.3.6 Glasfasern



### Basis-Charakteristika von Signalquellen



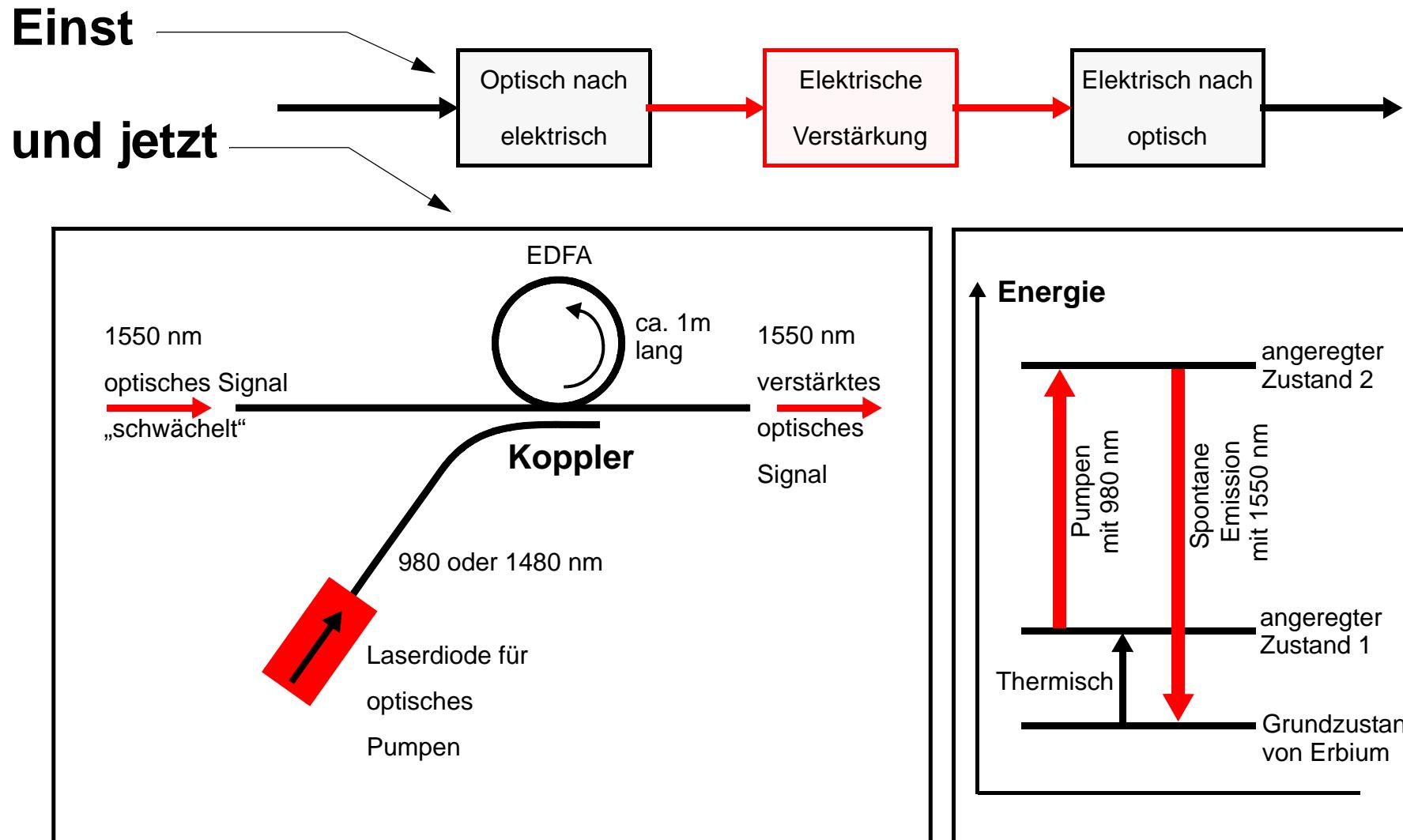
## 6.3.7 Glasfasern

---

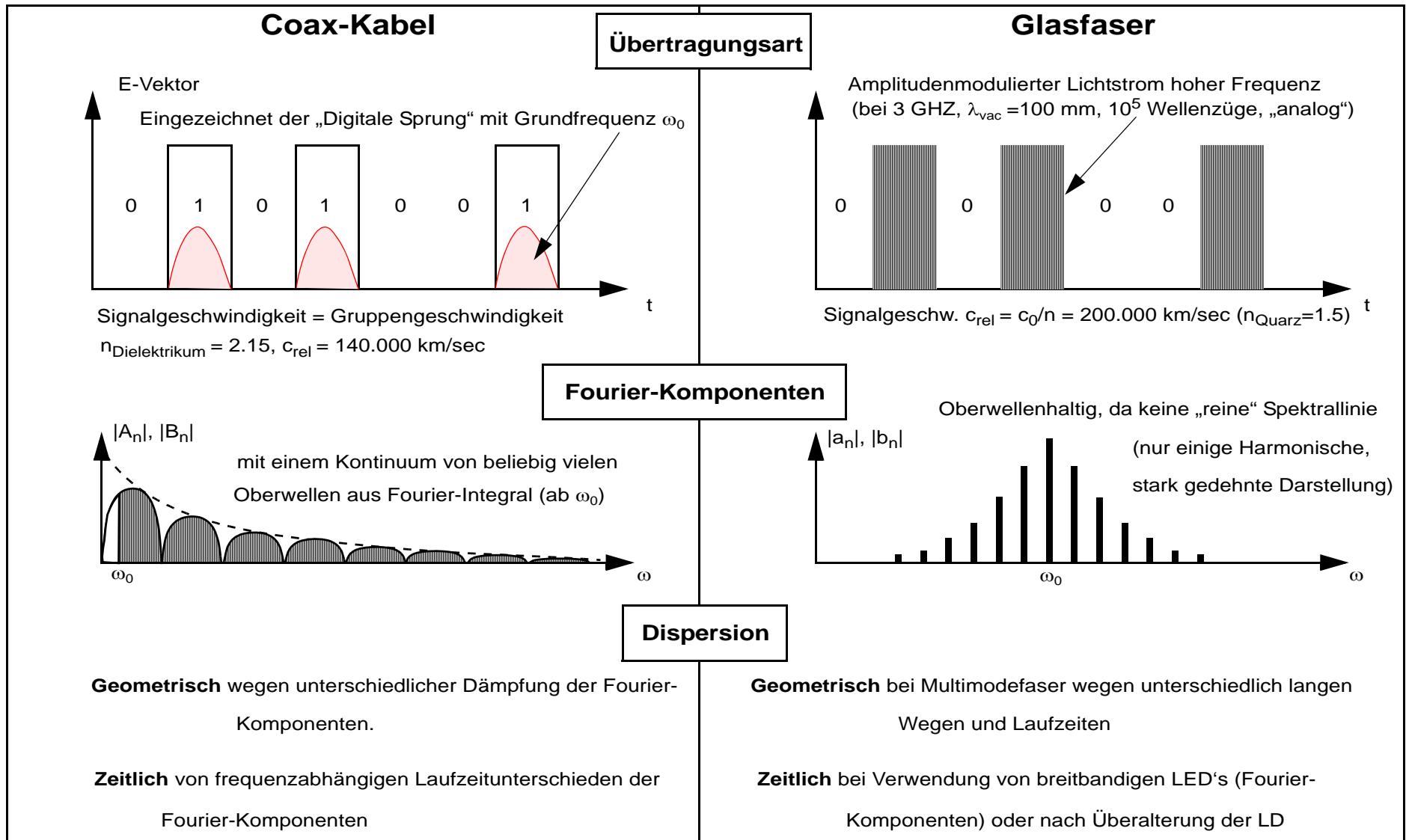
### <sup>1</sup>Vergleich von Signalquellen

Bezeichnung	<b>Laser Diode (LD)</b>		<b>Licht emittierende Diode (LED)</b>	
Material	<b>AlGaAs</b>	<b>InGaAsP</b>	<b>AlGaAs</b>	<b>InGaAsP</b>
Wellenlänge in µm	0.8 - 0.9	1.2 - 1.6	0.8 - 0.9	1.1 - 1.6
Optische Leistung mW	5 - 8	3 - 5	1 - 3	1
Einkoppelverlust in dB	3 - 5		15 - 20	
Spektrale Breite	< 2 nm	< 2 nm	50 nm	100 nm
Modulationsfrequenz	1000 MHz	1000 MHz	60 MHz	30 MHz
Modulationsart	Impuls		Impuls und analog	
Lebensdauer in h	$10^5$		$10^7$	
Anwendungsbereich	Weitverkehr grosser Kapazität		Lokale, kleinere Systeme	

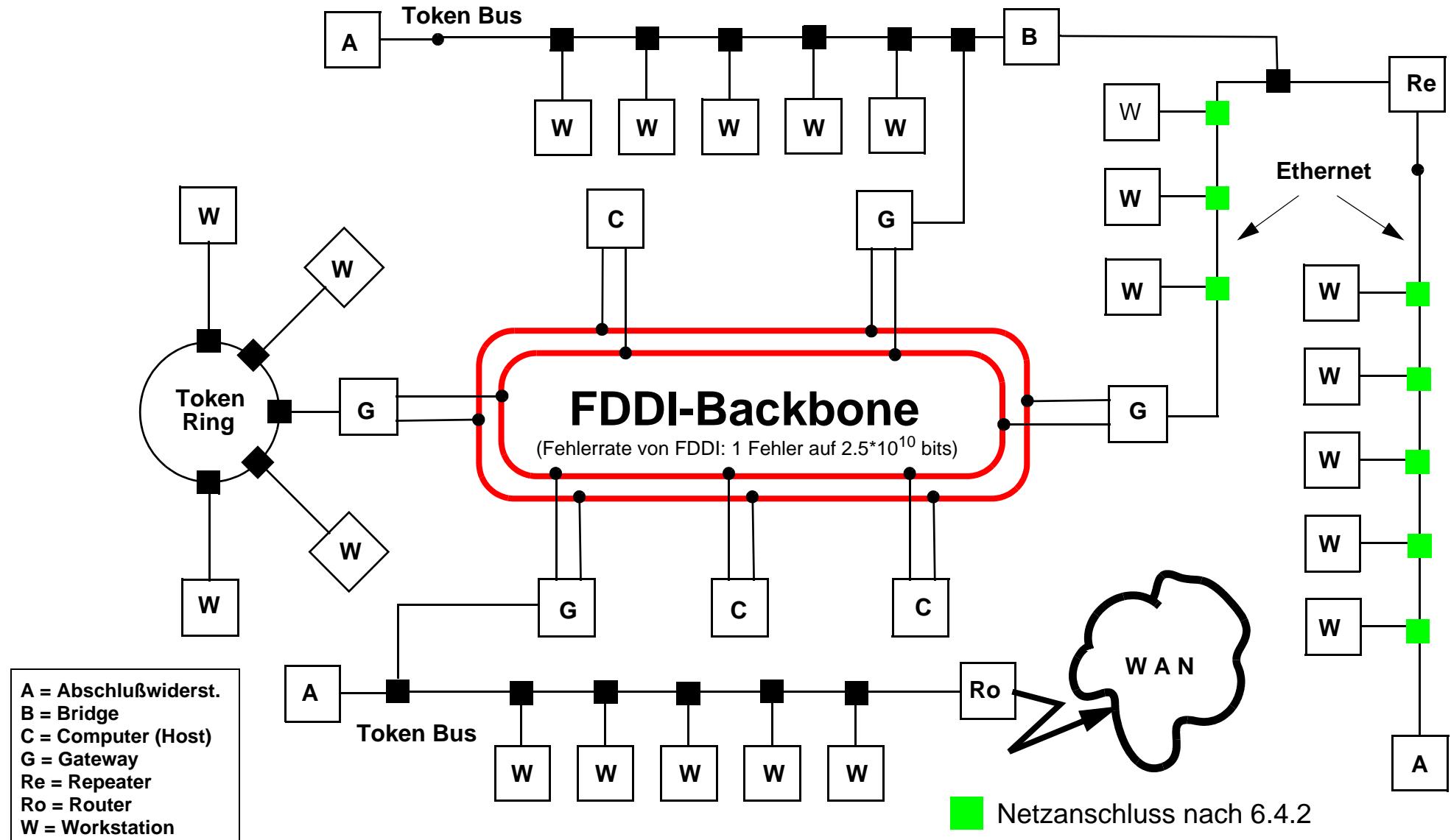
## 6.3.8 Erbium-dotierte Faserverstärker (EDFA)



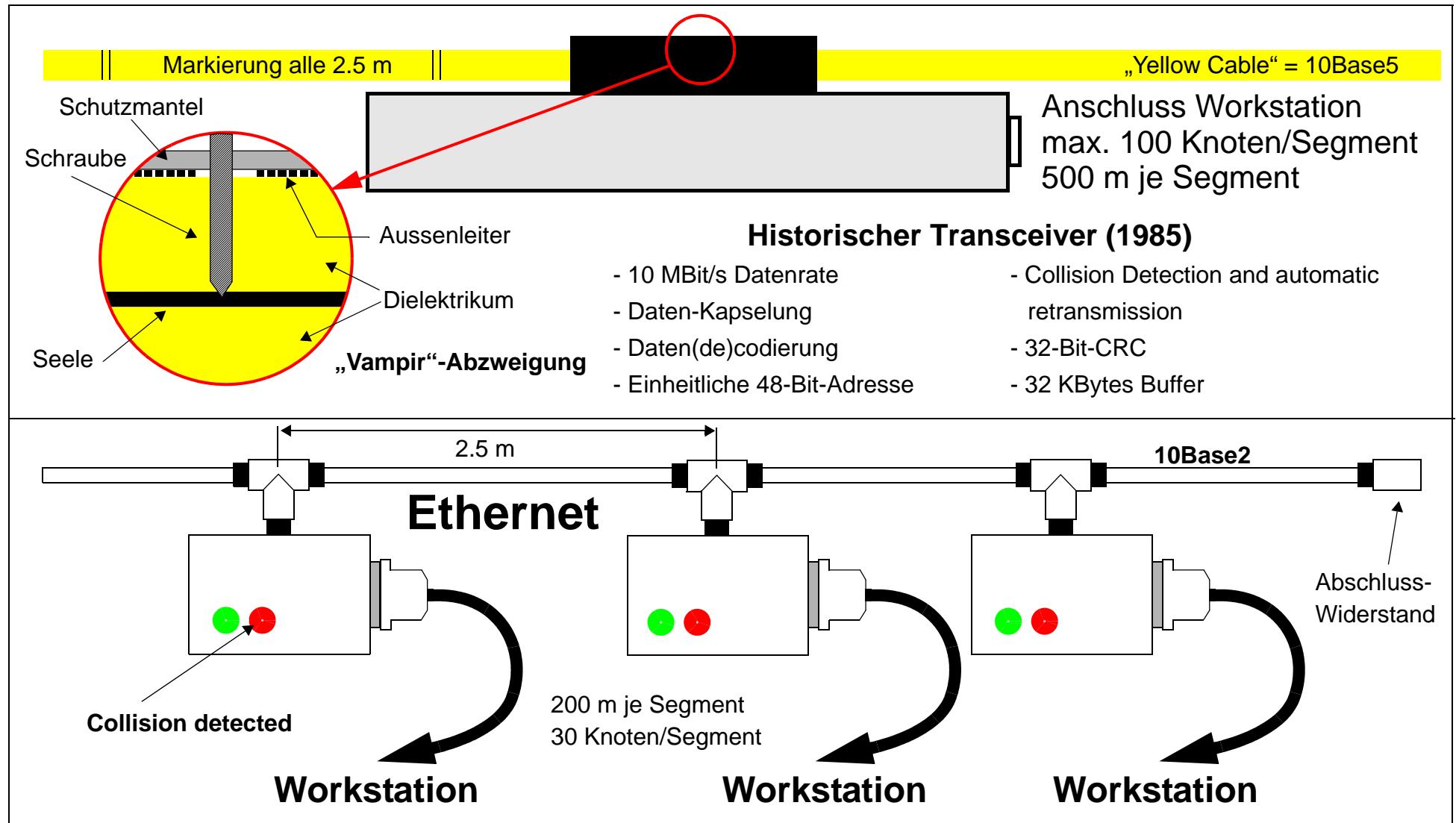
## 6.3.9 Vergleichende Betrachtung



## 6.4.1 Netzkomponenten (Topologie)



## 6.4.2 Netzanschluss-Techniken



## 6.4.3 Netzkomponenten (Zweipole)

- **Abschlußwiderstand:** Dieser schließt elektrisch jeweils ein Netzsegment bei Ethernet ab (keine Reflexion am Kabelende). Ohmscher = Wechselstrom-Widerstand
- **Repeater:** Zwischenverstärker zur Verbindung gleicher Netzsegmente, er arbeitet nur in der Schicht 1 (Bitübertragungsschicht), logisch sind alle Segmente Teil des Gesamtnetzes
- **Bridge:** Verbindet zwei verschiedenartige Netzwerke, die zwar identische Schicht 1, aber verschiedene Schicht 2 (Sicherungsschicht) besitzen
- **Router:** Verbindet zwei verschiedenartige Netzwerke über die ersten drei Schichten
- **Gateway:** Umsetzer zwischen verschiedenartigen (heterogenen) Netzen (FDDI, Ethernet, Token Ring, ...). Der Verbindungsaufbau geht oft über alle sieben Schichten

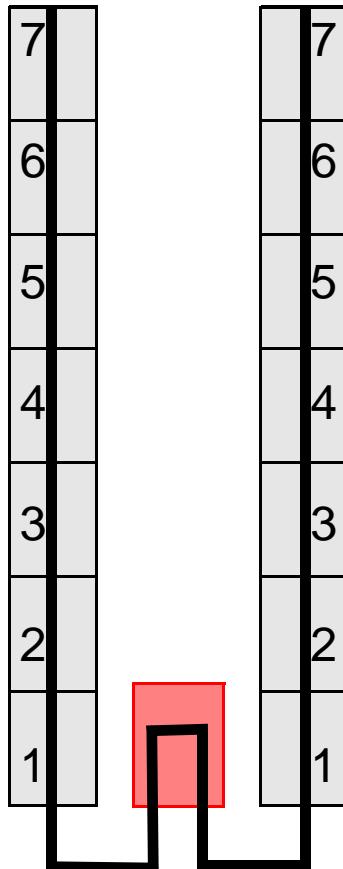
## 6.4.4 Netzkomponenten (Multipole)

---

- **Transceiver:** Anschlußstück, Stromversorgung aus dem angegeschlossenen Gerät zur Kollisions- und Trägererkennung, Fehlerkorrektur
- **Switch:** Multiplexer, der (oft) Gruppen von Übertragungsmedien unterstützt, z.B. 5\*Coax-Kabel, 5\*Lichtleiter, 5\*Twisted Pairs. Hat manchmal die Features eines Hubs
- **Hub:** „Intelligenter“ Multiplexer (z.B. Thick LAN [1\*] nach ThinLAN [mehrere Subnetze]. Der Hub erkennt Kurzschlüsse und Kabelbruch und schaltet das defekte Subnet elektrisch und logisch ab
- **Backbone:** Schnellstes Leitungsstück in einem heterogenen Netzwerk

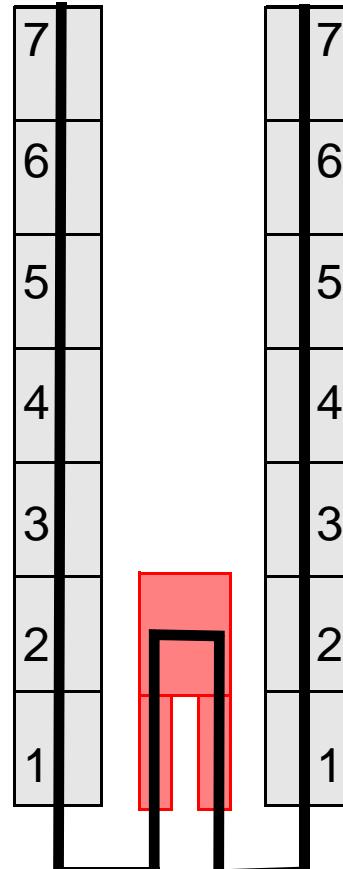
## 6.4.5 Netzkomponenten (netzübergreifend)

Repeater



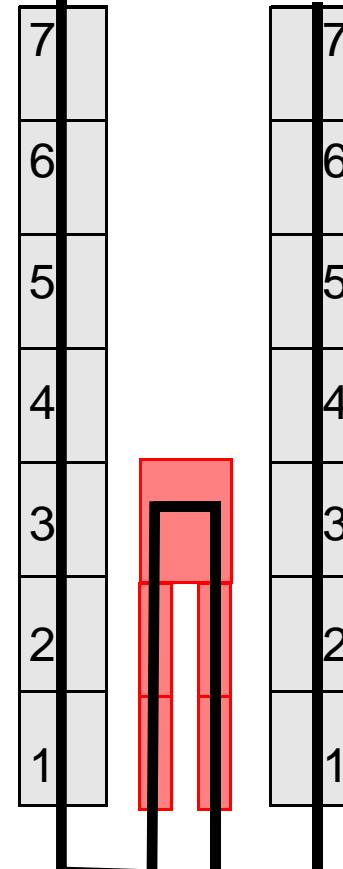
802.3

Bridge



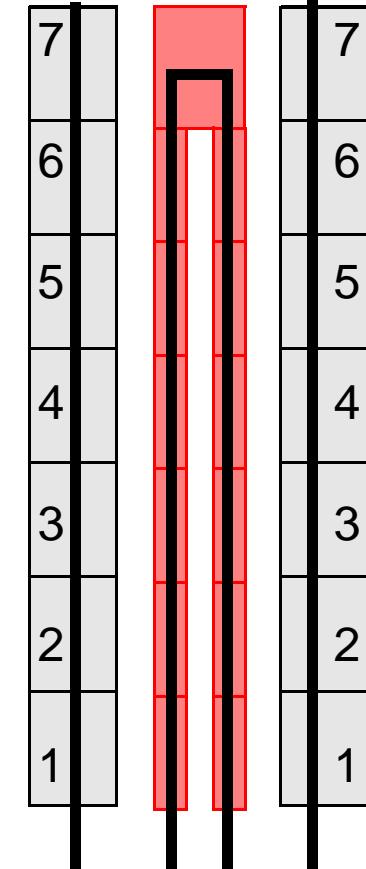
802.3      802.4

Router



802.4      X.25-WAN

Gateway



802.3      FDDI

## 6.4.6 Bandbreite

### Bandbreite = Maximale Datenrate

**Nyquist/Shannon:** Rauschfrei, Bandbreite H [Hz], Abtastrate 2H/sec, V diskrete Stufen (Harmonische)

- **Maximale Baudrate =  $2H \cdot \log_2 V$  [bits/sec]**

Rauschfrei: Kanal mit 3 KHz kann binäre Signale bis zu 6.000 Baud übertragen

**Shannon:** Rauschstärke N, Signalstärke S, Rauschabstand S/N, Bandbreite H

- **Maximale Baudrate =  $H \cdot \log_2(1 + S/N)$  [bits/sec]**

Thermisches (Gauss'sches) Rauschen: Rauschabstand S/N in **10 log<sub>10</sub> (S/N)** = Dezibel (dB) für Leistungsangaben und

**20 log<sub>10</sub> (S/N)** = Dezibel (dB) für Strom/Spannungsangaben

Rauschabstand S/N (Linear)	S/N in Dezibel (Logarithmisch)
10	10
100	20
1.000	30
10.000	40

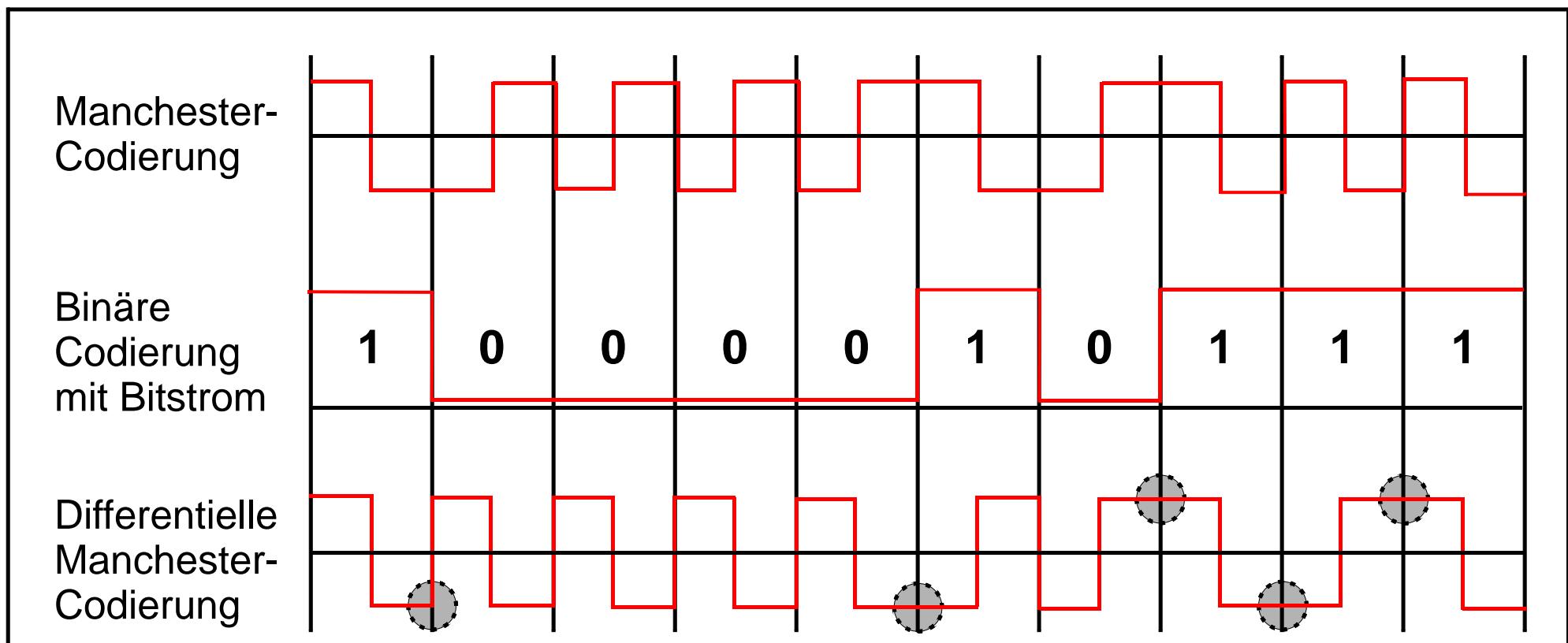
Wieder 3 KHz-Kanal als Grundlage mit 30 dB Dämpfung (Postnorm): Maximal 30.000 Bd

Theoretischer oberer Grenzwert, eigentlich nicht erreichbar

Nach: A.S.Tanenbaum, Computer-Netzwerke, Wolfram's Fachverlag, 1990

## 6.4.7 Differentielle Manchester-Kodierung

Achtung: Wenn bei der Manchester-Codierung das Signal um eine halbe Periode verrutscht, dann findet eine Fehlinterpretation statt



Nach: A.S.Tanenbaum, Computer-Netzwerke, Wolfram's Fachverlag, 1990

## 6.4.8 ISO-OSI-Modell

