

Funktion und Bedeutung von Speicherung für die Medien 4

Dieses Material beruht in wesentlichen Teilen auf die folgenden Bücher:

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

Es ist u.a. auch vollständig auf der CD enthalten:

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

Völz, H.: Das Mensch-Technik-System. Expert-Verlag, Renningen - Malsheim 1999

Die betreffenden Inhalte wurden stark verkürzt, auf den neuesten Stand gebracht, die Bilder weitgehend farbig umgesetzt.

Zur Nutzung dieses Materials

Bei Angabe der Quelle ist dies Material zum privaten Gebrauch voll nutzbar.

Bei kommerzieller Nutzung bzw. in Publikationen usw. ist eine Abstimmung mit mir notwendig.

Bilder in höherer Qualität sind verfügbar als JPG-Bilder mit ca. 2000×3000 Pixel oder CDR-Dateien, Version 12 bzw. 16

Dieses Material wurde heruntergeladen von: horstvoelz.de

Email: [h.voelz\(at\)online.de](mailto:h.voelz(at)online.de)

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

Gliederung

1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
6. Das Magnetband
7. Das Transportwerk
8. Die HF-Vormagnetisierung
9. Nach dem Krieg
10. Breitenanwendung
11. Heimton- und Diktiertechnik

Bedeutung der magnetischen Speicher

Allen magnetischen Speichern kommt eine besondere Bedeutung zu.

Hier müssen keine strukturellen Veränderungen erfolgen, sondern nur Veränderungen des atomaren Spins.

Daraus folgt eine ausgeprägte Hysterese, die ohne Probleme ein Aufzeichnen, Löschen und Wiedergeben ermöglicht.

So wird gleichermaßen erzwungene Reversibilität und lang anhaltende stabile Irreversibilität vereint.

Es sind dabei keine aufwendigen strukturellen oder materiellen Veränderungen erforderlich.

Die magnetische Speicherung besitzt daher eine Vielzahl von Anwendungen und Ausführungen.

In diesem Teil wird nur ihre Anwendung für kontinuierliche Schallaufzeichnung behandelt.

Nicht behandelt werden also Video-, Messwert- und rechentechnische Speicher.

Ebenfalls entfallen alle digitalen und nicht auf Magnetband beruhende Speicher

Dazu gehören Ferritkern-, Karten- und MRAM-Speicher.

Gliederung

1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
6. Das Magnetband
7. Das Transportwerk
8. Die HF-Vormagnetisierung
9. Nach dem Krieg
10. Breitenanwendung
11. Heimton- und Diktiertechnik

Ströme und Magnetismus

Um einen fließenden elektrischen Strom entsteht immer ein Magnetfeld. Hierfür gilt das Gesetz von BIOT-SAVART. JEAN BAPTISTE BIOT (1774 - 1862) und FÉLIX SAVART (1791 - 1841); Gesetz von 1820

Mit dem Strom I längs einer Wegstrecke ds beträgt die **Magnetfeld-Komponente** im Abstand r unter dem Winkel φ

$$dH = \frac{I}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \sin(\varphi) \cdot ds.$$

Für einen **Kreisstrom** (Drahtwindung) mit dem Radius R ergibt sich auf der x -Achse an der Koordinate x die Feldstärke

$$H_x = \frac{I}{2} \cdot \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}}.$$

Bei einer **Spule** sind n Windungen (Kreisströme) mit dem Radius R dicht aneinandergelegt. Ist ihre Länge $l \ll R$, so existiert in ihrem Innern die Feldstärke

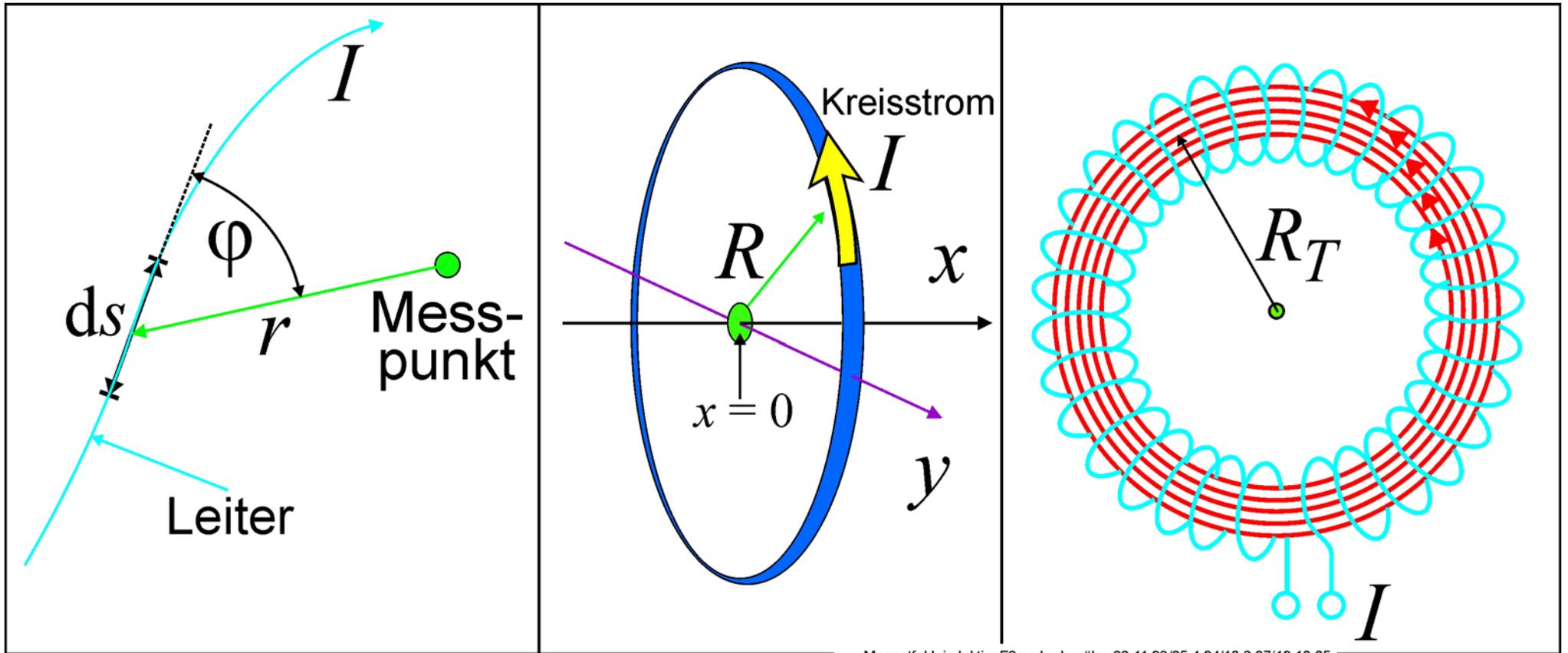
$$H_x = \frac{n \cdot I}{l}.$$

Dieses Ergebnis macht die **Maßeinheit** der magnetischen Feldstärke in A/m verständlich. Häufig wird aber die cgs-Einheit (nicht SI) Örsted benutzt:

$$1 \text{ Oe} = \frac{10}{4 \cdot \pi} \text{ A/cm} \approx 0,796 \text{ A/cm}.$$

Wird die Spule zu einem **Toroid** mit dem Radius R_T geformt, dann gilt für die Spulenachse

$$H = \frac{n}{2 \cdot \pi \cdot R_T}.$$



Magnetfeld_induktionF3a.cdr h. völz 22.11.93/25.4.94/10.2.97/19.10.05

Wirkung von Magnetfeldern

Wie alle Felder, sind auch Magnetfelder *nur* durch ihre (Kraft-) *Wirkungen auf „Passendes“* feststellbar:

Die Richtung der Kraftwirkung wird dabei durch Feldlinien bestimmt (s. u. Eisenfeilspäne)

Fließen durch zwei benachbarte Leitungen die Ströme in der gleichen Richtung, so *ziehen sich an*.

Entgegengesetzt gerichtete Ströme *stoßen sich ab*.

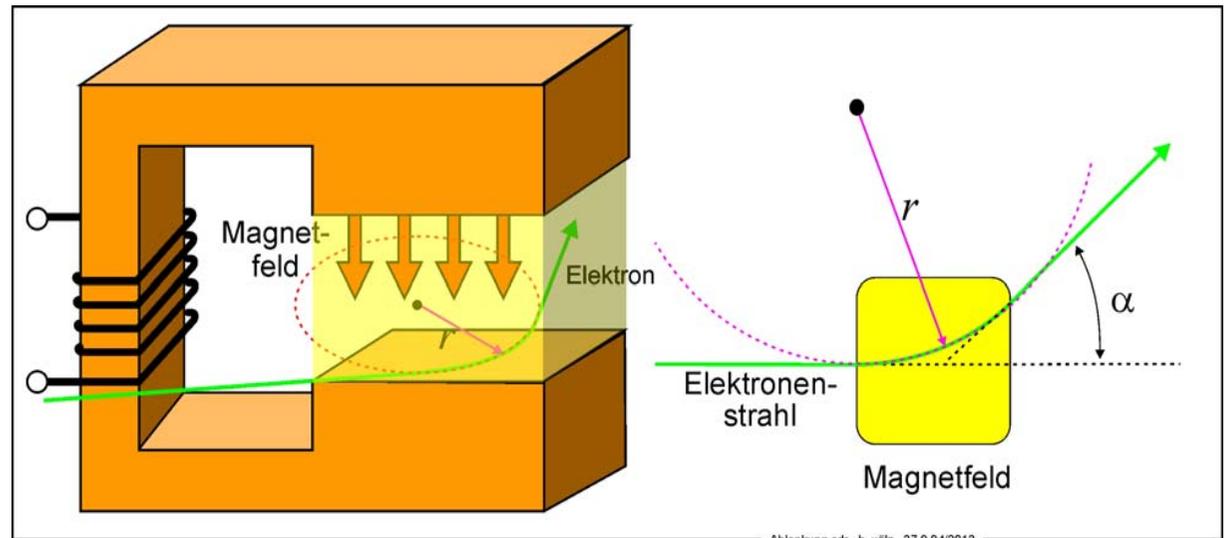
Hierauf beruht – noch immer statt Zählen von Elektronen – die *Definition der Stromstärke*:

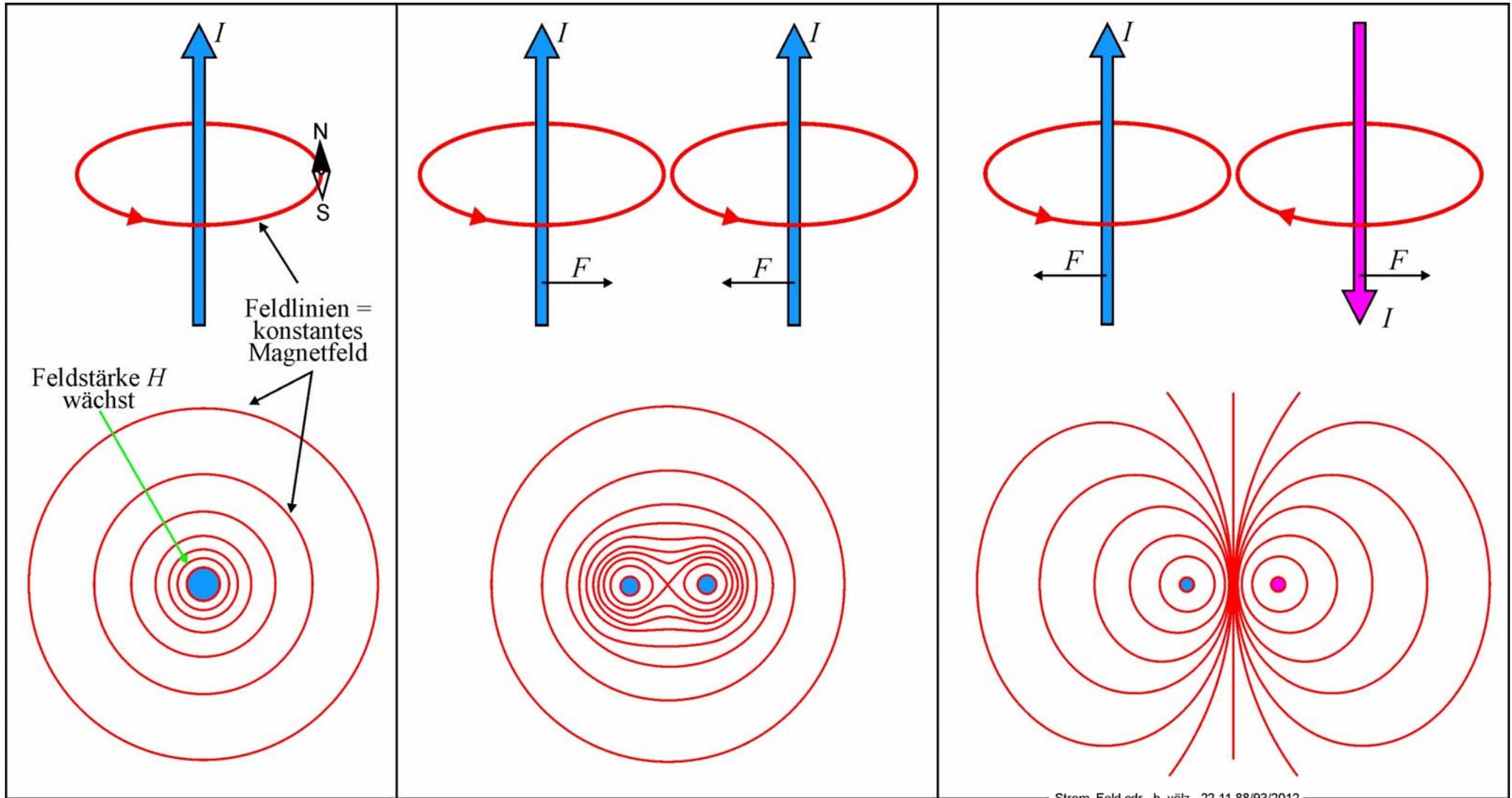
Die Basiseinheit 1 Ampere (1 A) ist die Stärke des zeitlich unveränderlichen elektrischen Stromes durch zwei geradlinige, parallele, unendlich lange Leiter der relativen Permeabilität 1 und von vernachlässigbarem Querschnitt, die den Abstand von 1 m haben und zwischen denen die durch den Strom elektrodynamisch hervorgerufene Kraft im Vakuum je 1 m Länge der Doppelleitung $2 \cdot 10^{-7}$ N beträgt.

Außerdem *lenkt* ein Magnetfeld *bewegte Ladungen*, z. B. Elektronen in ihrer Bewegungsrichtung *kreisförmig* ab.

Diese Ablenkung wird durch die LORENTZ-Kraft verursacht (s. u.): $F \sim v \cdot B \cdot \sin(\varphi)$.

HENDRIK ANTOON LORENTZ (1853 - 1928).





Hinweis: Bei elektrischen Ladungen sind 3-dimensional (Punktladungen), hier sind die Felder nur zweidimensional (Zylinder!).

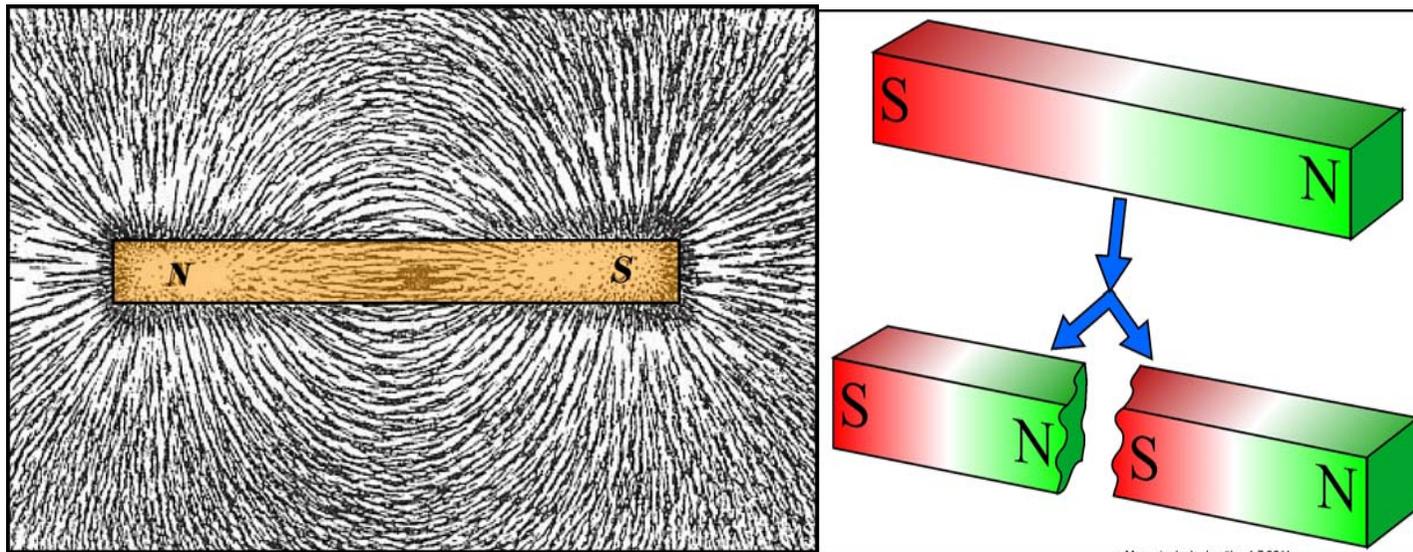
Feldlinien des Magnetfeldes

Feldlinien dienen stets zur Veranschaulichung von Feldern, mittelbar lassen sie sich sichtbar machen (Eisenfeilspäne!) Die **Feldlinien** des Magnetismus sind im Gegensatz zu allen anderen Feldern **immer geschlossen**. Sie enden also nicht wie bei Elektrostatik bei Ladungen oder wie bei der Schwerkraft bei Massen (→ vgl. Grundkräfte!).

Achtung!

Entgegen theoretischen Ansätzen wurde **kein magnetischer „Monopol“**, d. h. isolierter Süd- oder Nordpol nachgewiesen. Außerhalb des Magneten verlaufen die Feldlinien **vom Nord- zum Südpol**.

Das Feld von **Dauermagneten** geht durch den Magneten hindurch und rührt nicht von bewegten Elektronen her. Es geht auf nicht kompensierte **quantenphysikalische Spins** zurück (s. u.)



Magnetische Flussdichte = Induktion = B

Ursprünglich wurde angenommen, dass Magnetismus ähnlich wie eine *Flüssigkeit* durch den Raum fließt. Obwohl das lange als falsch erkannt ist, wurden die Begriffe magnetischer Fluss und Flussdichte beibehalten. Der Magnetismus wirkt *orthogonal* (senkrecht) zu den Feldlinien, seine *Gesamtheit* ist der *magnetische Fluss* Φ (Phi). In ihm ist mittelbar die gesamte *Energie des Magnetfeldes* enthalten. Er wird in $V \cdot s = Wb$ (Weber) gemessen. Die *Ursache* des Magnetflusses ist die Feldstärke H

Die *Flussdichte* betrifft den Flussanteil, der durch die *Fläche* A „fließt“.

$$B = \Phi/A.$$

Sie wird in Tesla gemessen: $1 \text{ T} = 10\,000 \text{ G}$ (Gauß).

Mit der senkrecht zum Querschnitt herrschenden *Feldstärke* H ergibt sich die

$$\text{Energiedichte } w = B \cdot H/2.$$

Im *Vakuum* ist die Flussdichte B *proportional zu* H gemäß

$$B = \mu_0 \cdot H.$$

$\mu_0 \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$ ist die absolute Permeabilität ($H = \text{Henry} = V \cdot s/A$).

Meist wird die Flussdichte mit einer *Spule* aus n Windungen gemessen.

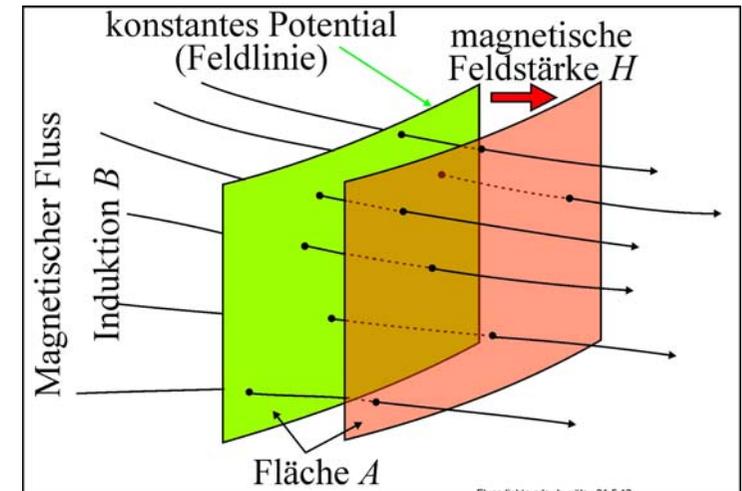
In ihr tritt jedoch nur dann eine *Induktionsspannung* (s. u.) auf, wenn sich B , Φ oder die Fläche A ändern:

$$U_{ind} = -n \cdot \frac{d\Phi}{dt} = n \cdot A \cdot \frac{dB}{dt} = n \cdot \frac{d}{dt} \int B \cdot dA.$$

Beispiele hierfür sind eine Drehspule im Magnetfeld oder die Bewegung eines Magneten.

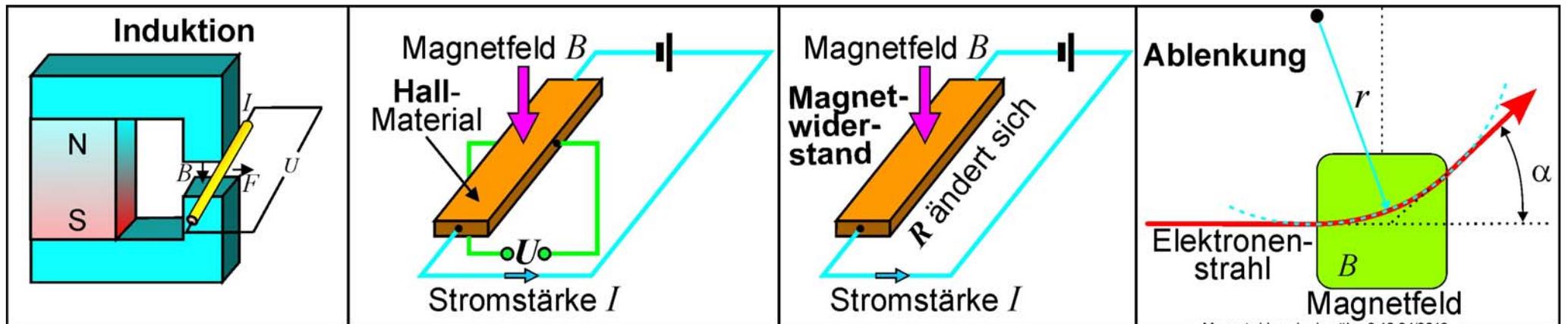
Für die Messung weniger geeignet sind der HALL-Effekt oder die Ablenkung einer Magnetnadel bzw. bewegter Ladung.

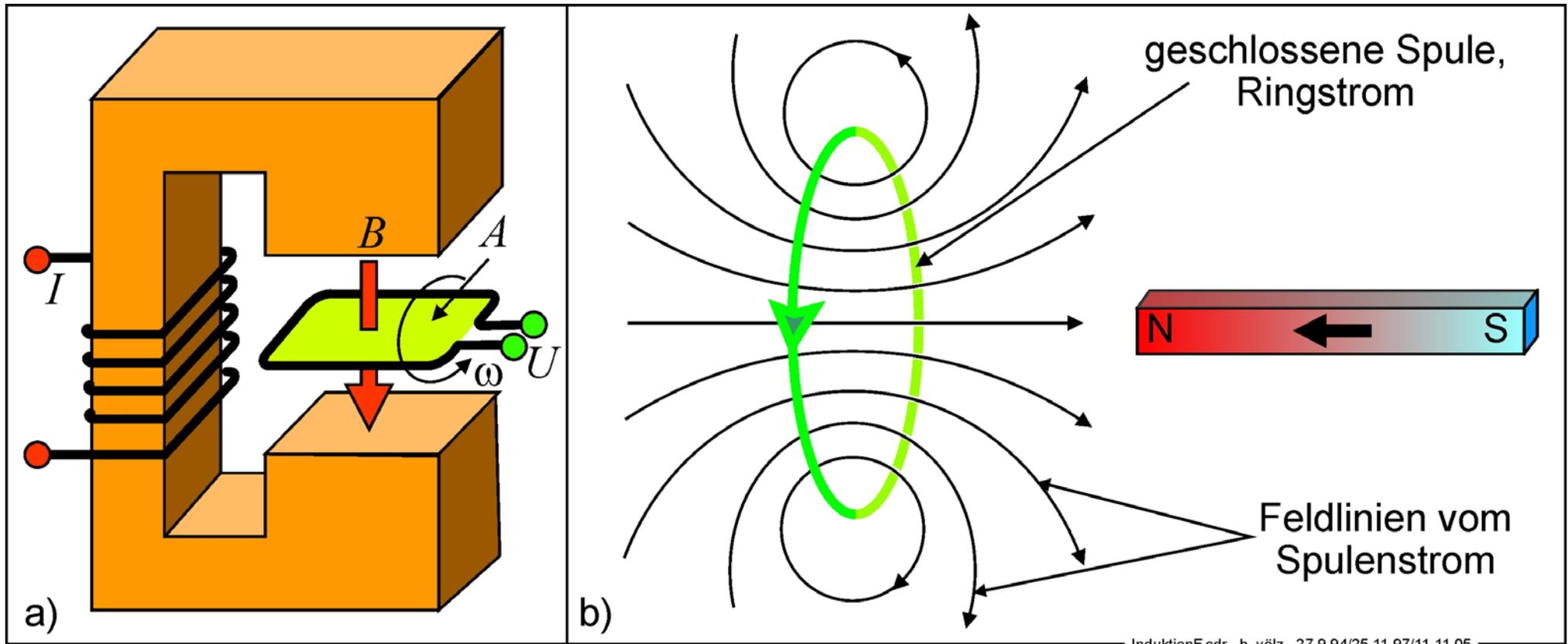
In Elektromotoren, Transformatoren usw. beträgt die typische magnetische Flussdichte ca. 1 T .



Wirkungen des Magnetflusses

- **Induktions-Spannung** $U \sim dB/dt$. Sie wird u. a. *genutzt* bei Stromgeneratoren (Dynamos) sowie Wandlern wie Mikrofonen und Magnetköpfen.
- **HALL-Effekt**, $U \sim B$, (EDWIN HERBERT HALL; 1855 - 1938). Sie führte zu wenigen technischen Anwendungen.
- **Magneto-resistiver Widerstand** (MR), $R = f(|B|)$. Die spätere Weiterentwicklung zum GMR (großer, great MR) wird in Magnetköpfen benutzt und führte zum Nobelpreis.
- **Ablenkung bewegter Ladungen** durch LORENTZ-Kraft $r \sim B$ (HENDRIK ANTOON LORENTZ; 1853 - 1928). Sie hat Bedeutung bei einigen Elektronenröhren, dem Röhrenmonitor und den klassischen Oszillografen.





InduktionF.cdr h. vözl 27.9.94/25.11.97/11.11.05

Magnetfelder im Material

In Materialien existiert die relative Permeabilität $\mu_r \neq 1$. Das verändert die magnetische Induktion B :

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H.$$

Im Weiteren wird kein **dia-** ($\mu_r = 1 - \chi$) und **paramagnetisches** ($\mu_r = 1 + \chi$) mit $\chi \ll 1$ Material betrachtet. Sie haben einen nur sehr geringen Einfluss auf ein Magnetfeld und sind daher **kaum von technischer Bedeutung**. Fälschlich werden sie auch unmagnetisch genannt.

Unmagnetisch muss jedoch von unmagnetisiert unterschieden werden (s. u.).

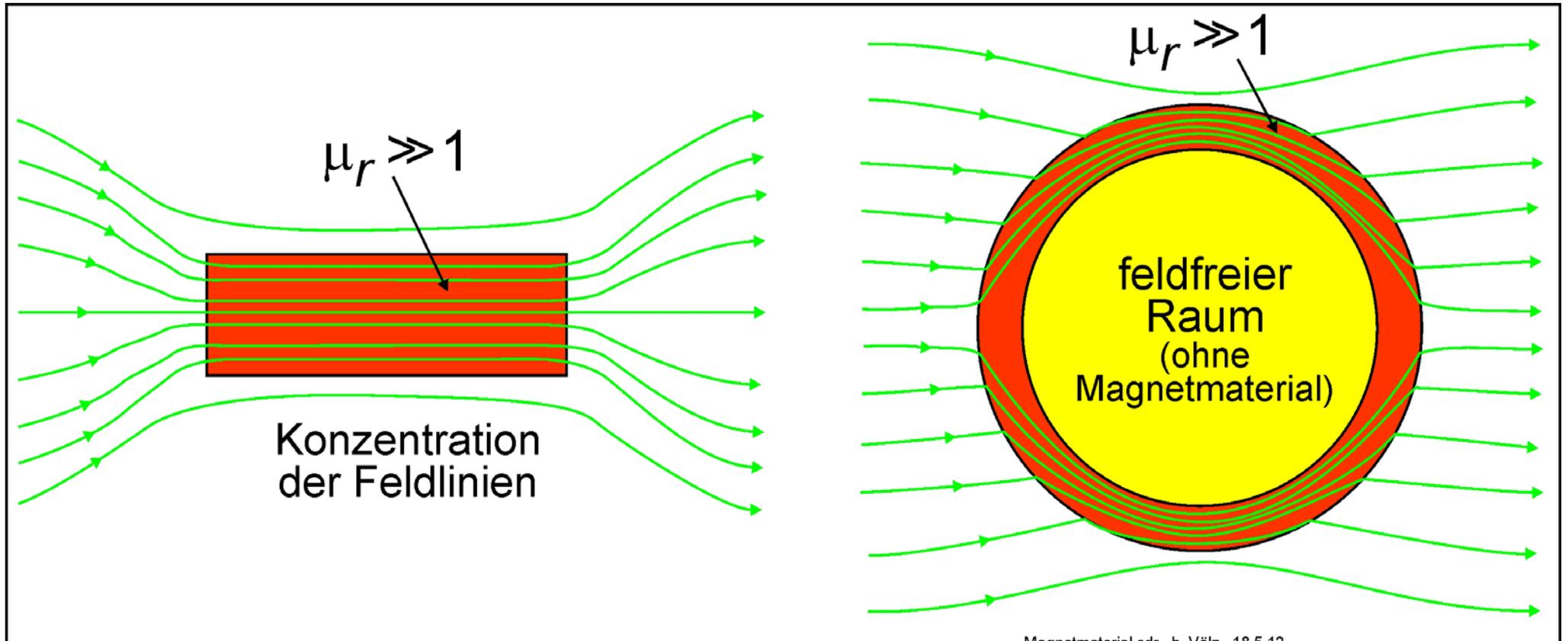
$\chi = \mu_r - 1$ heißt auch Suszeptibilität.

Hauptsächlich wird weiterhin (**ferro-**) **magnetisches** Material mit $\mu_r \gg 1$ und daher $\mu_r \approx \chi$ behandelt. Es „**verdichtet**“ den Fluss und die Feldlinien.

Verläuft der gesamte Fluss Φ nicht im Material, so wird ein Teil aus der Nachbarschaft in das Material hingezogen. Dadurch sinkt gegenüber der Umgebung die Feldstärke im Material.

An den **Grenzflächen** treten Unstetigkeiten auf, die etwa der **Lichtbrechung** an Oberflächen entsprechen.

Das Hineinziehen des Flusses in das Material kann soweit gehen, dass **feldfreie Räume** entstehen. Auf diesem Prinzip beruhen die magnetischen **Abschirmungen** bis hin zum FARADAY-Raum.



Magnetmaterial.cdr h. Völz 18.5.12.

Hysterese

In vielen naturwissenschaftlichen Gesetzen ist die Wirkung weitgehend der Ursache proportional.

Magnetisch entspräche das dem einfachen Gesetz: $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = \mu_0 \cdot (H + M)$.

Darin wird $M = (\mu_r - 1) \cdot H = \chi \cdot H$ als **Magnetisierung** bezeichnet. Sie ermöglicht eine etwas übersichtlichere Darstellung. Bei vielen magnetischen Materialien wird der obige lineare Zusammenhang weitgehend durch die Hysterese aufgehoben. Der Zusammenhang zwischen erregender Feldstärke H und bewirkter Magnetisierung $B = f(H)$ ist recht kompliziert. U. a. hinterlässt jede Feldeinwirkung nach ihrem Verschwinden eine **remanente Magnetisierung** B_R bzw. M_R . Solch ein Material besitzt also ein „Gedächtnis“ bezüglich der Vergangenheit und ermöglicht sehr gute Speicher.

Die Vielzahl der möglichen Kurvenverläufe zeigt das folgende Bild:

Mit steigender Erregung wird schließlich bei recht hoher Feldstärke die **Sättigungsmagnetisierung** B_S bzw. M_S erreicht.

Bei einem entsprechend starken Wechselfeld wird die **Grenzhysterese** durchlaufen.

Ihr Flächeninhalt bewirkt die **Hystereseverluste**, die eine Erwärmung des Materials hervorrufen.

Die **Koerzitiv-Feldstärke** H_C ist notwendig, um die Sättigungsmagnetisierung rückgängig zu machen.

Innerhalb der Grenzhysterese sind sehr vielfältige Kurvenverläufe möglich.

Für unterschiedliche Erregungen H treten gibt es verschiedene Remanenzen $M_R = f(H_{max}) \Rightarrow$ Remanenzkurve.

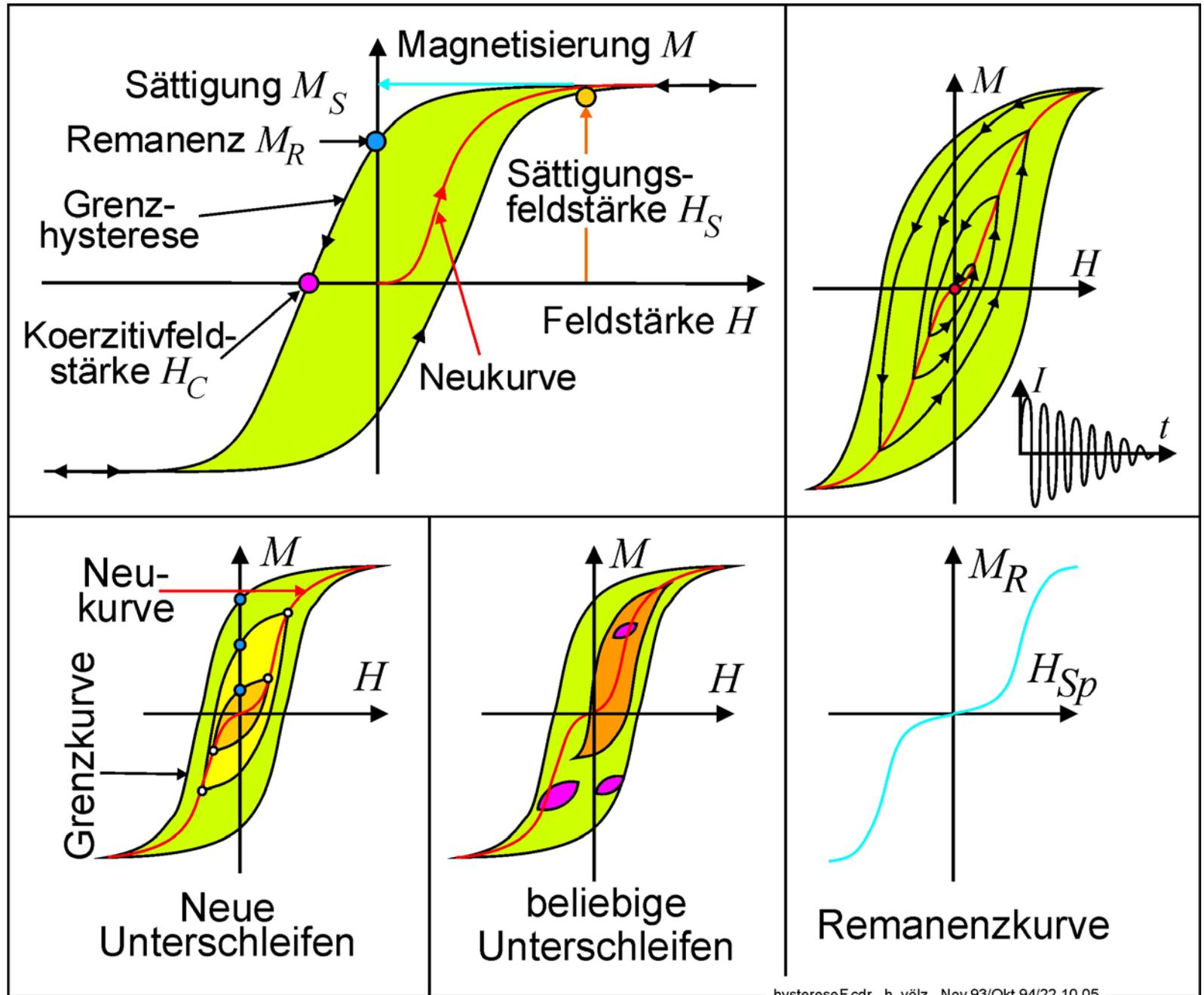
Durch ein abklingendes Wechselfeld kann der „eigentliche Nullpunkt“ = **unmagnetisiert** erreicht werden.

Hier **erscheint** jedes magnetische Material unmagnetisch.

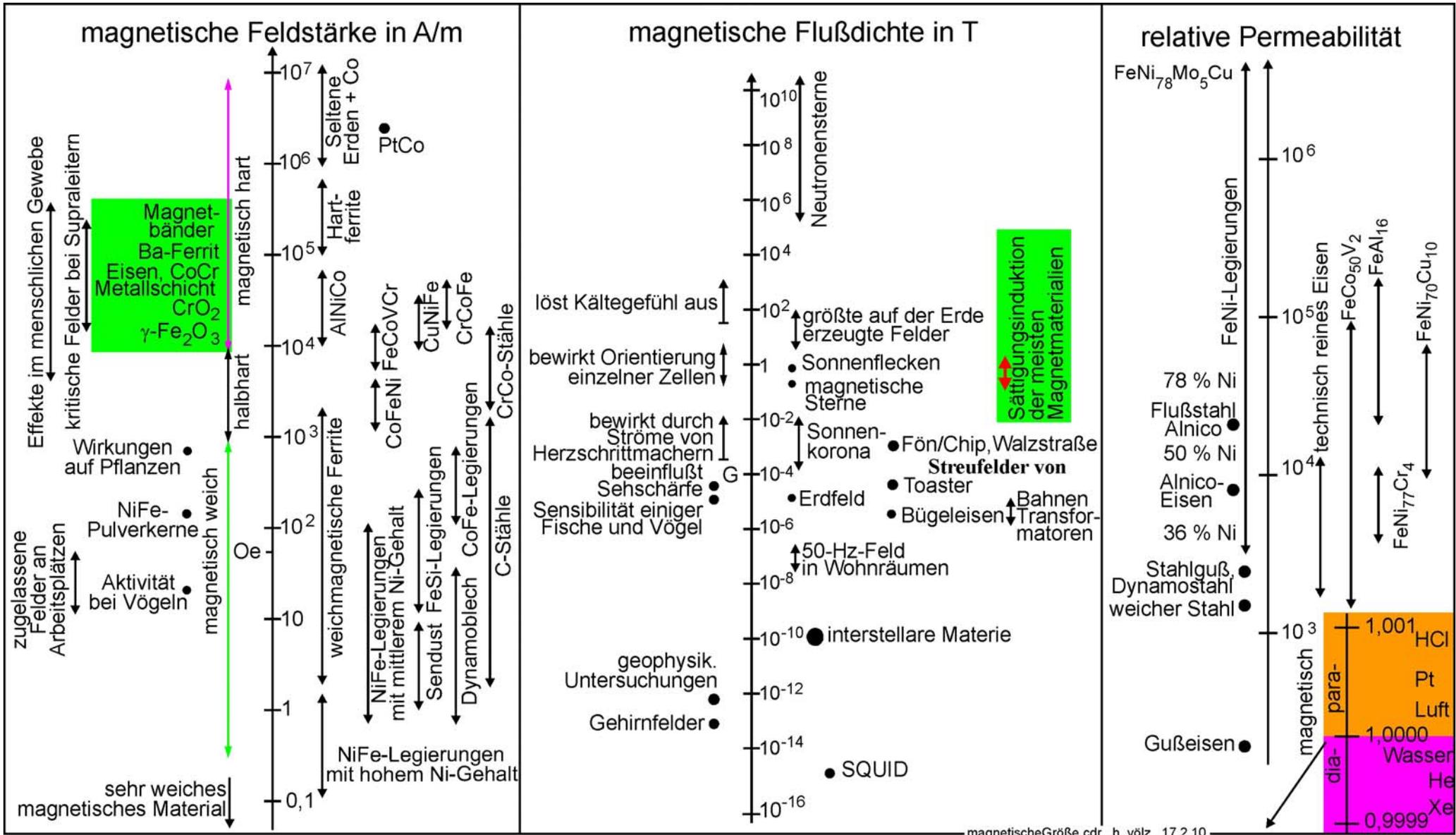
Hier beginnt die **Neukurve** (früher jungfräuliche Kurve).

Besonders wichtige **Kenndaten** sind Sättigungs-Magnetisierung, Koerzitiv-Feldstärke und Anfangspermeabilität.

Ein anschauliches Beispiel für die Hysterese ist ein Gummiband. Die Feldstärke entspricht dem Strom, die Magnetisierung der Länge des Bandes. Wird es unter Zug gedehnt, so gelangt es nach Aufhören die Zuges zunächst nicht auf seine ursprüngliche Länge zurück. Der größeren Länge entspricht die die Remanenz.



hystereseF.cdr h. vözl Nov.93/Okt.94/22.10.05



Magnetfelder der Atome

Gemäß dem klassischen Atommodell bewegen sich die Elektronen auf Kreis- und Ellipsenbahnen um den Atomkern. Deshalb führte NILS BOHR (1885 - 1962) das **BOHRsche Magneton** als magnetisches Bahn-Dreh-Moment ein:

$$\mu_B = \frac{e_0 \cdot h}{4 \cdot \pi \cdot m_e} \approx 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2.$$

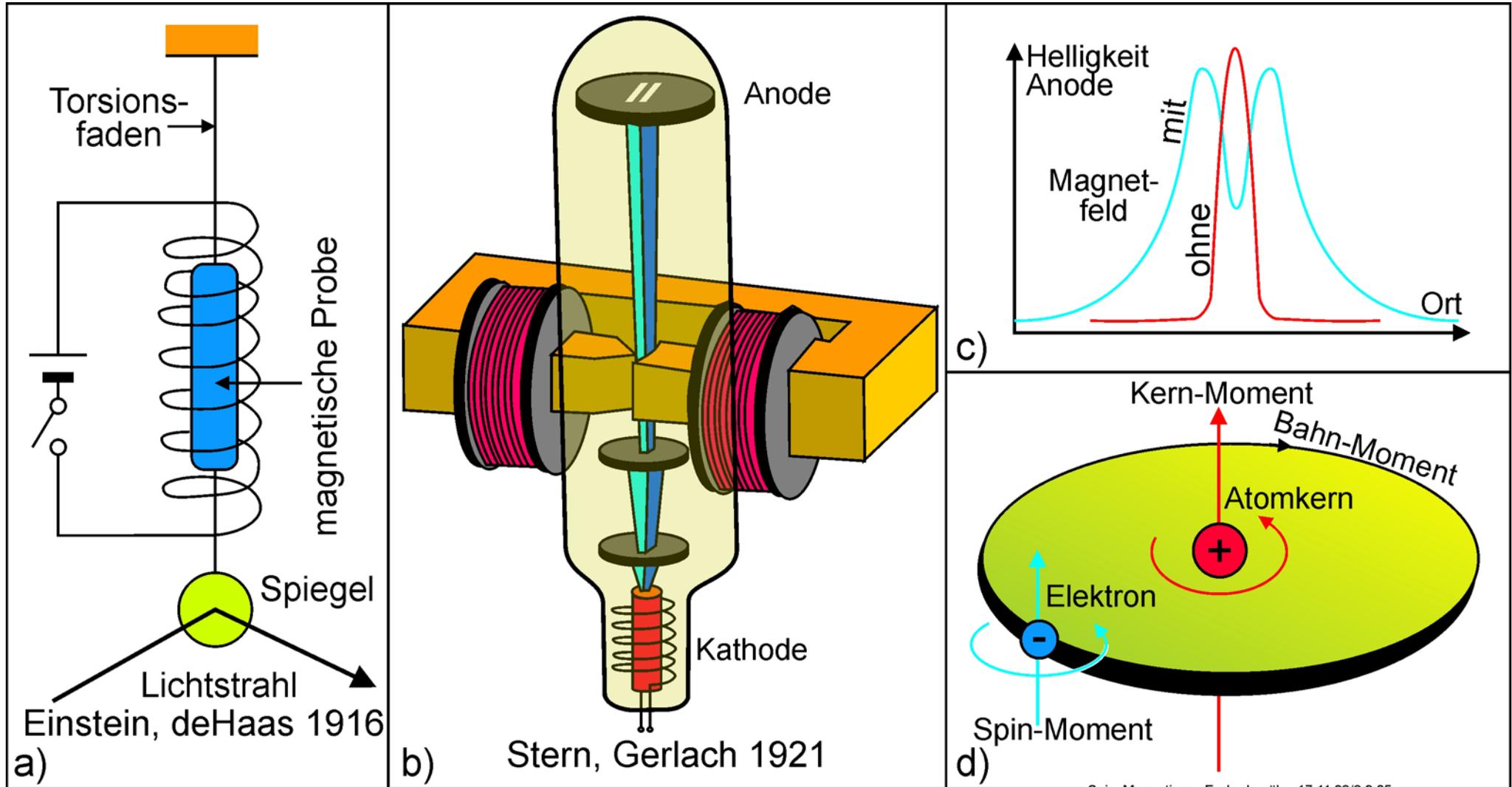
Darin bedeuten: e_0 die Elektronenladung, m_0 die Elektronenmasse und h die PLANCK'sche Konstante.

Achtung! μ_B hat keinen Bezug zur magnetischen Permeabilität μ_0 oder μ_r .

1916 wiesen ALBERT EINSTEIN (1879 – 1955) und WANDER JOHANNES DE HAAS (1878 – 1960) diese Kreisströme nach.

1921 zeigte dann der STERN-GERLACH-*Versuch* Effekte (OTTO STERN; 1888 – 1969; WALTHER GERLACH; 1889 – 1979): Es gibt die magnetischen Momente des **Spin** (Eigenrotation) von Atomkern und Elektronen (spin-up \uparrow , spin-down \downarrow).

Doch warum zeigen dann fast **nur die drei chemische Elemente** Fe, Ni und Co ein beachtliches Magnetfeld?



Spin_MagnetismusF.cdr h. vözl 17.11.93/3.9.05

Warum sind nur wenige Elemente magnetisch?

Das **PAULI-Verbot** besagt, dass es in einen Kristall usw. nur verschiedene *Quantenzustände* geben kann
(WOLFGANG ERNST PAULI, 1900 - 1958).

In Ruhe nimmt ein System außerdem immer den Zustand mit der *niedrigsten Energie* an.

Hierdurch *kompensieren sich* weitgehend alle *magnetischen Momente* eines Atoms.

Erstaunlich ist es, dass die Energie eines Elektrons der inneren Bahn größer als die einer äußeren Bahn sein kann.

Dadurch besitzt die *äußere Schale bereits Elektronen* bevor alle Quantenzustände der inneren Schale besetzt sind.

Zusätzlich *schirmt* dabei die äußere Schale die Elektronen inneren Schale gegenüber Einflüssen *ab*.

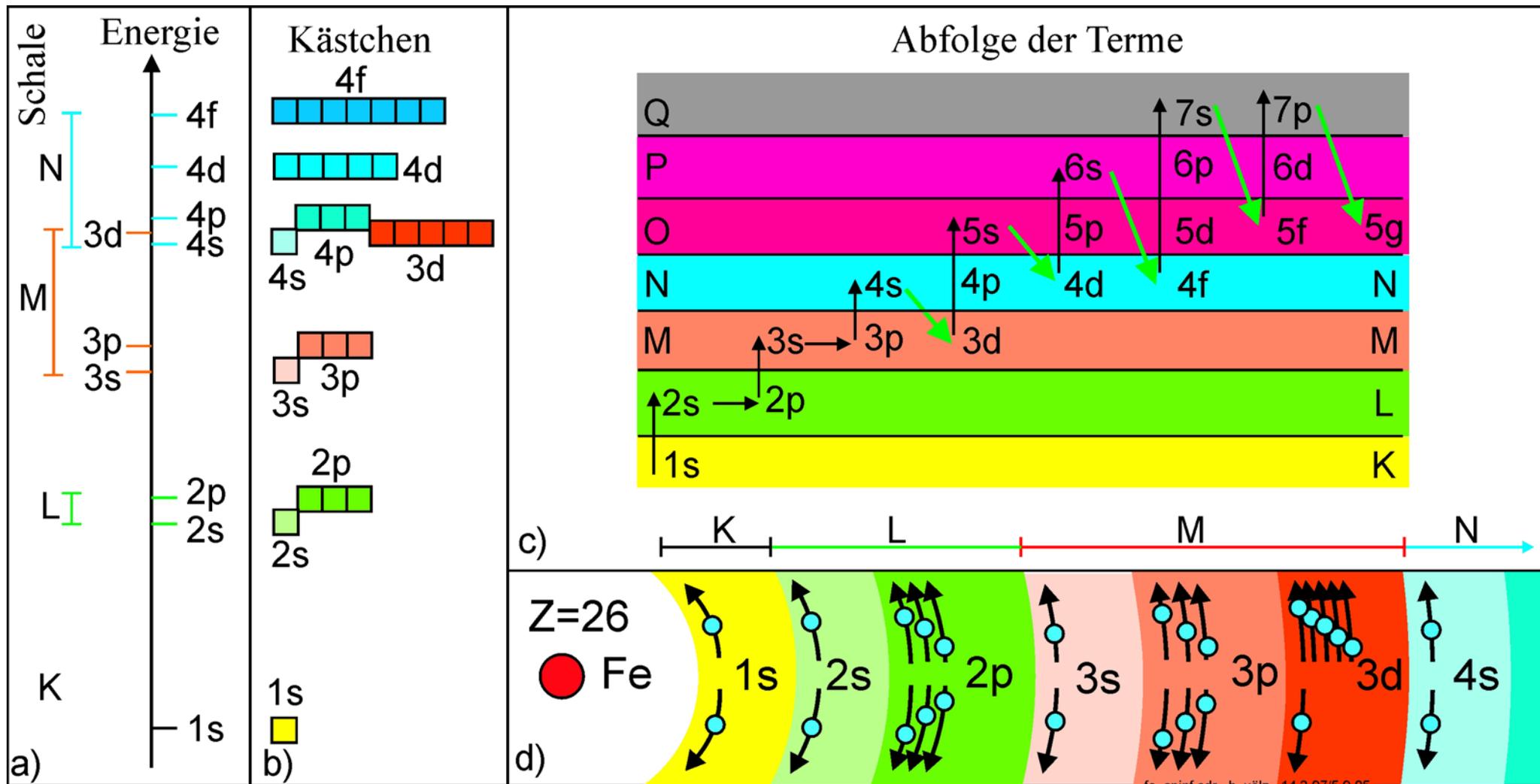
Deshalb verfügen die Spins der inneren Elektronen über Freiheiten. Sie müssen sich *nicht mehr kompensieren*.

Das tritt *erstmalig bei Fe, Co und Ni* auf. So besitzen sie ein beachtliches magnetisches Moment.

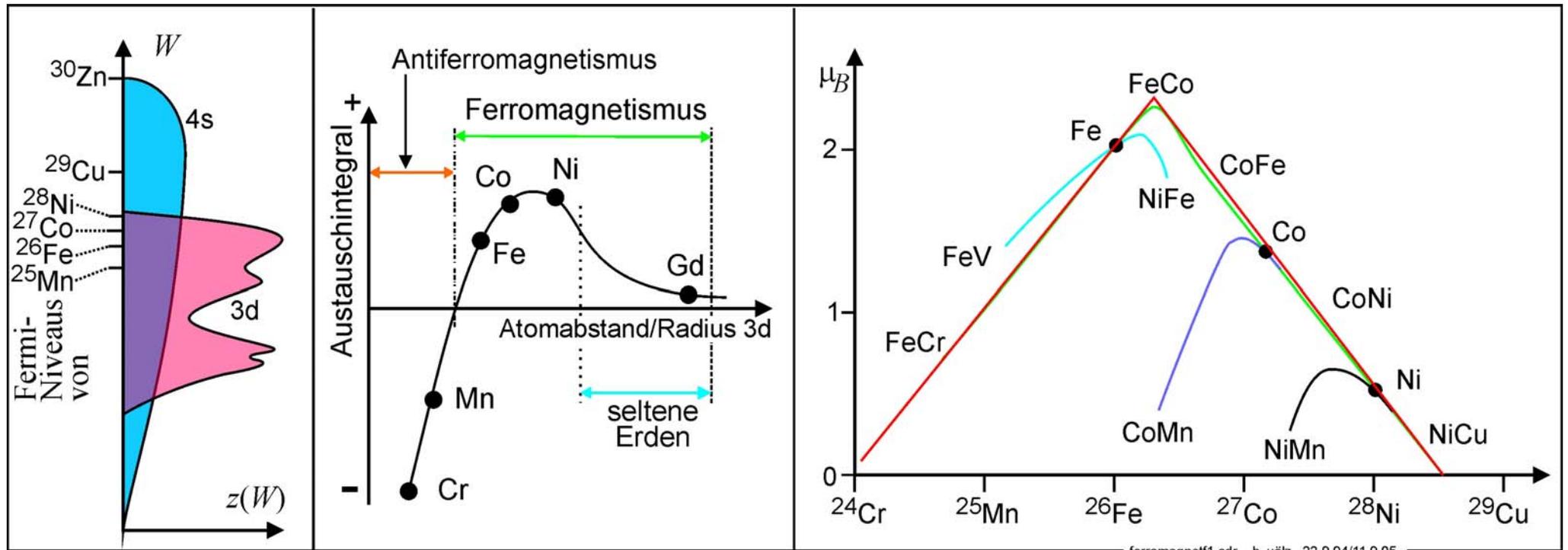
Später kommt das dann bei den *Seltenen Erden* vor. Sie wurden für den Magnetismus erst vor ca. 20 Jahren wichtig.

Schließlich tritt dieser Effekt dann noch einmal bei einigen sehr *schweren Elementen* auf.

Für die Darstellung der Zusammenhänge gibt es mehrere Möglichkeiten.



Links: *Belegungsdichte* der Terme mit Elektronen und **FERMI-Niveaus** von einigen Elementen.
 Mitte: Das *Austauschintegral* der Elemente in Abhängigkeit von Atomabstand und Radius.
 Rechts: Verlauf des gemessenen magnetischen Momente für einige Elemente und Verbindungen.



Erklärung der Hysterese

Ferromagnetisches Material ist immer vollständig *spontan magnetisiert*.

Das ist an der Oberfläche mittels einer magnetischen Flüssigkeit (sehr kleine Fe-Späne in Flüssigkeit) nachweisbar. Dabei zeigt sich, dass es überall kleine *Bereiche* gibt, die in einer Richtung magnetisch gesättigt sind. Sie sind durch so genannte *Wände* voneinander getrennt, die weitgehend an Fehlstellen des Materials hängen bleiben. Ohne äußeres Magnetfeld ist die jeweilige Richtung hauptsächlich durch die *Form-Anisotropie* des Bereiches festgelegt.

Ein *äußeres Magnetfeld* wirkt auf die einzelnen Bereiche mit *drei möglichen Änderungen* ein.

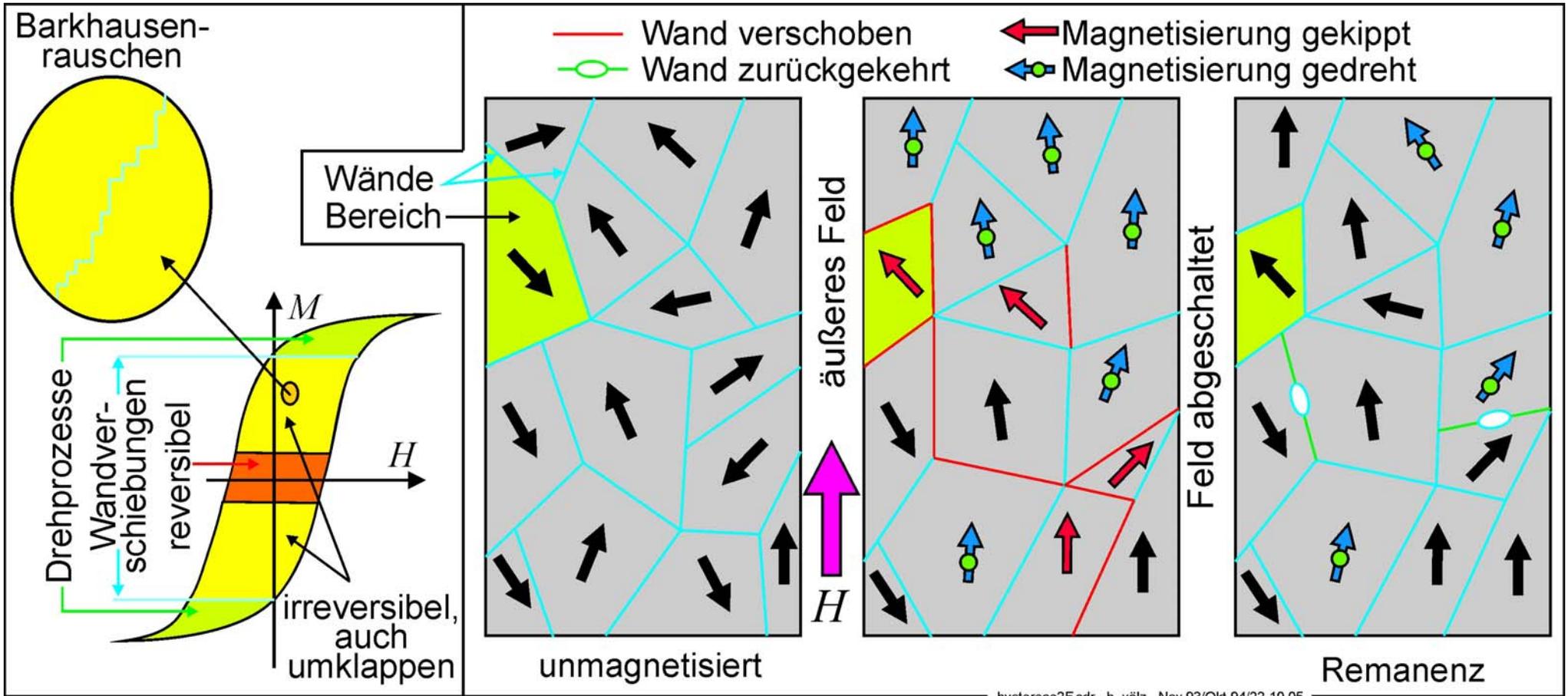
Mit steigendem Magnetfeld treten sie bevorzugt in der folgenden Reihenfolge auf:

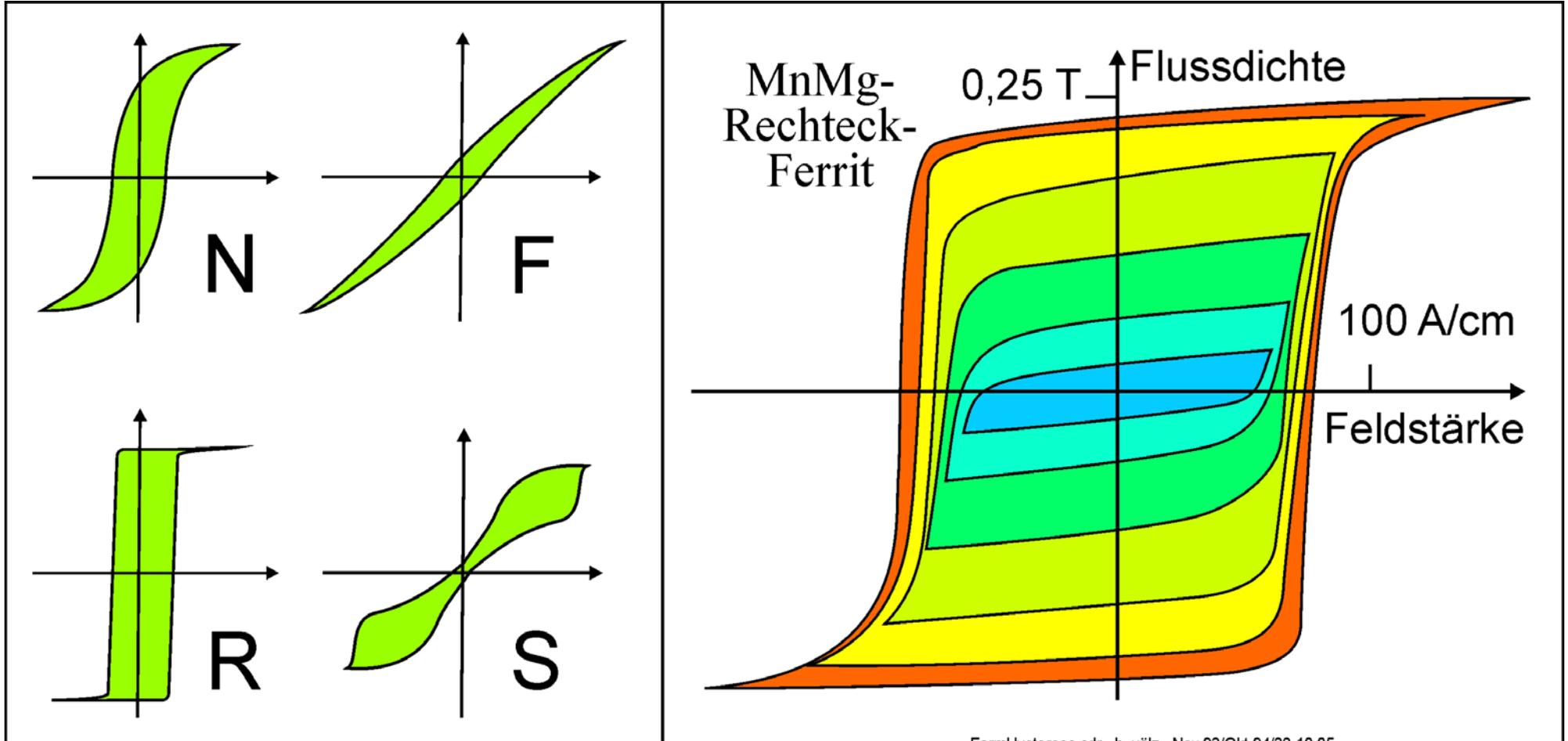
1. *Wandverschiebungen*: Hierbei verlagern sich die trennenden Wände zugunsten der Bereiche des äußeren Feldes. Diese Änderungen sind teilweise reversibel bzw. irreversibel.
2. *Klappprozesse*: Zur besseren Anpassung springt die Magnetisierungsrichtung eines Bereichs in die entgegengesetzte Richtung. Diese Änderung ist *voll irreversibel*. Auch nach dem Verschwinden des äußeren Feldes bleibt die neue Richtung erhalten. Das Umklappen ist mittels BARKHAUSEN-Effekt nachweisbar. GEORG HEINRICH BARKHAUSEN (1881 - 1923)
3. *Drehprozesse*: Das Magnetfeld im Material wird kontinuierlich in die Richtung des äußeren Feldes gedreht. Dieser Prozess ist voll reversibel. Die Änderung verschwindet völlig, wenn das äußere Magnetfeld abgeschaltet wird.

Das Zusammenwirken der drei Effekte ist die Ursache der komplizierten Hysterese-Kurven. Je nach Material, Kristallisation usw. können sehr unterschiedliche Kurvenverläufe auftreten.

Magnetisches Material ist also immer vollständig spontan magnetisiert!

Doch pauschal (bezogen auf die Umwelt) kann es unmagnetisch, genauer *unmagnetisiert erscheinen*.

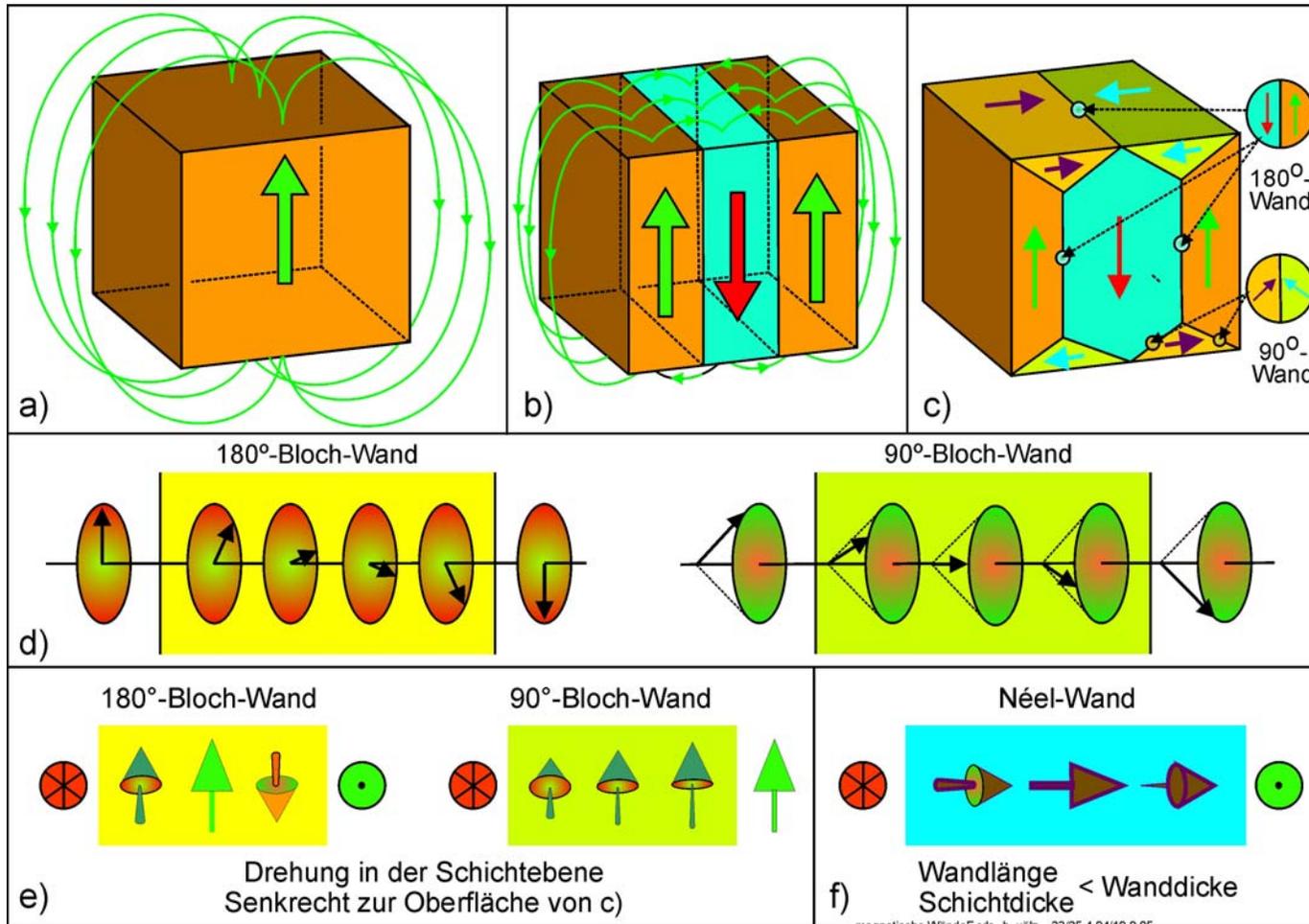




FormHysterese.cdr h. vözl Nov.93/Okt.94/22.10.05

Minimale externe Energie

Die einzelnen magnetischen Bereiche können im Raum sehr unterschiedlich orientiert sein. Sie stellen sich jedoch immer so ein, dass im äußeren Magnetfeld möglichst wenig Energie auftritt. Dabei können mehrere Typen von magnetischen Wänden entstehen.



Induktion

Lateinisch inductio, inducere hinein führen

Von diesem *vielschichtigen Begriff* sind hier drei gebräuchliche Inhalte unwichtig:

- **Wissenschaftliche Methode:** schließt vom besonderen Einzelfall auf das Allgemeine, Gesetzmäßige.
- **Mathematik:** Vollständige Induktion = Verfahren zum Nachweis der Allgemeingültigkeit eines Satzes.
- **Biologie:** Von einem bestimmten Keimteil ausgehende Wirkung für Entwicklungsvorgänge.

Eingeführt sind schon (s. o.):

- Induktion = **Magnetische Flussdichte** = B
- Induktions-**Spannung**, die in einem Leiter, einer Spule entsteht, wenn sich B , Φ oder die Fläche A ändern

Jetzt kommen noch *hinzu*:

- als Effekte: **Selbst-** und **Gegen-Induktion**.
- als zugehörige Bauelemente: Selbst und Gegen-**Induktivität**.

Selbstinduktion \Rightarrow Induktivität

Eine Induktionsspannung entsteht nicht nur, wenn magnetische Felder auf einen Draht, eine Spule einwirken.

Ändert sich die Stromstärke I in einem Leiter, so wirkt das sich ändernde Magnetfeld **auch auf den Leiter selbst**.

Es entsteht auch in ihm die Induktionsspannung:

$$U_{Ind} = -L \cdot \frac{dI}{dt}.$$

Sie wirkt der Stromänderung dI/dt entgegen. Dieser Vorgang heißt **Selbstinduktion**; L ist die **Induktivität**.

Sie verzögert den Stromanstieg bzw. wirkt Stromsenkung, -abschaltung entgegen \Rightarrow Funken am Schalter (Gleichstrom!).

L hängt von der Gestalt des Leiters (A = Querschnitt, l = Länge, n = Windungszahl) und der Permeabilität μ_r ab:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_R \cdot n^2 \cdot \frac{A}{l}.$$

Sie wird in **Henry** (H) gemessen (JOSEPH HENRY; 1797 - 1878).

Wirkt das Feld einer Spule auf eine andere ein, so bilden beide eine **Gegeninduktivität** (M)

Beispiele hierfür sind **Transformatoren** (Trafo) und **Übertrager**.

Die Wirkung heißt auch **Gegeninduktion**.

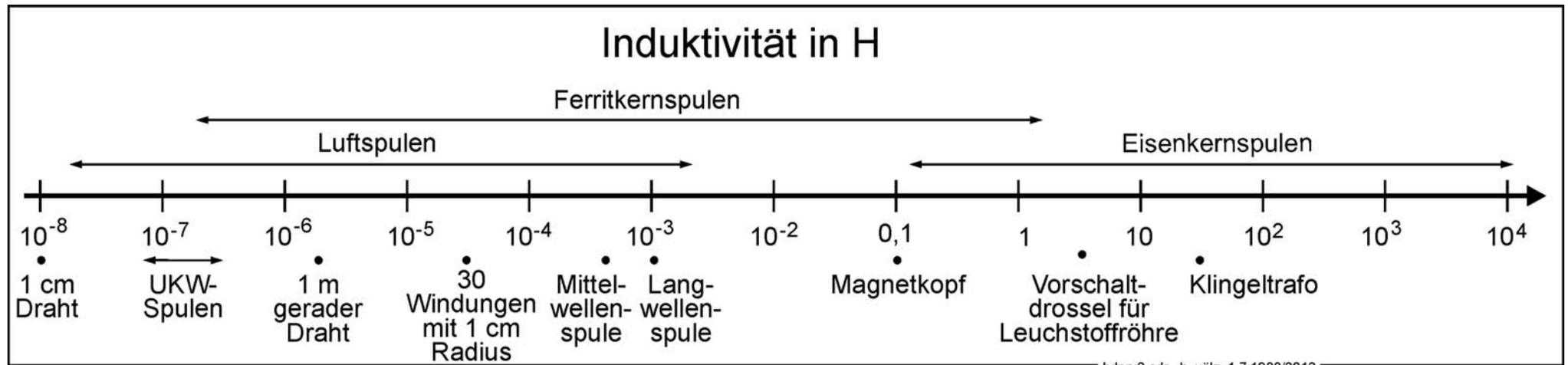
Induktivitäten *bestehen aus* Drahtwindungen und dem Wickelkörper bzw. Magnetkern.

Der Wickelkern (-körper) entspricht einem *magnetischen Widerstand*, der in der Tabelle auch als *AL-Wert* auftaucht.

Er ist das primäre, „vorproduzierte“ Bauelement, welches erst durch die Spule zur Induktivität wird.

Wegen der Wicklung sind Spulen selten als „eigentliche“ Bauelemente verfügbar.

Das ist auch der Grund, dass *selten die Induktionswerte* in Henry angegeben werden.



hdnry2.cdr h. vözl 1.7.1988/2012

Wirbelstrom und Skineffekt

Außer der meist erwünschten Induktion und Selbstinduktion haben Magnetfeld-Änderungen weitere Wirkungen.

In einem kompakten Leiter ruft die dort induzierte Spannung den *Wirbelstrom* I_{Wir} hervor.

Mit der dazugehörenden internen Induktionsspannung U_{Wir} ergibt sich eine *Energie* $E_{Wir} = U_{Wir} \cdot I_{Wir}$.

Sie geht u. a. bei Spulen (Drosseln) und Transformatoren verloren und erzeugt *unerwünschte Wärme*.

Deshalb sollen Magnetmaterialien oft eine geringe Leitfähigkeit besitzen \Rightarrow *Pulver-, Ferritkerne und Lamellierung*.

Gezielt kann sie aber auch zur *Erhitzung von Leitermaterial*, z. B. bei Schmelzöfen eingesetzt werden.

Eine weitere Abwandlung vom Wirbelstrom ist der **Skineffekt**

In einem *Draht* drängt der Wirbelstrom die bewegten Elektronen an dessen *Oberfläche*.

Für die Leitung von Hochfrequenz steht dann ein nur deutlich *kleinerer Querschnitt* zur Verfügung.

Um den Widerstand dennoch gering zu halten werden viele dünne Drähte zu einer *Litze* parallel geschaltet.

Die entstehende Flexibilität ist ein zusätzlicher Gewinn.

Elektromagnetismus und mechanische Bewegung

Bereits MICHAEL FARADAY (1791 - 1867) glaubte an die *Symmetrie der Natur* und experimentierte auf dieser Grundlage.

Führt Strom zum Magnetismus, dann muss es auch Magnetismus Stromerzeugung ermöglichen.

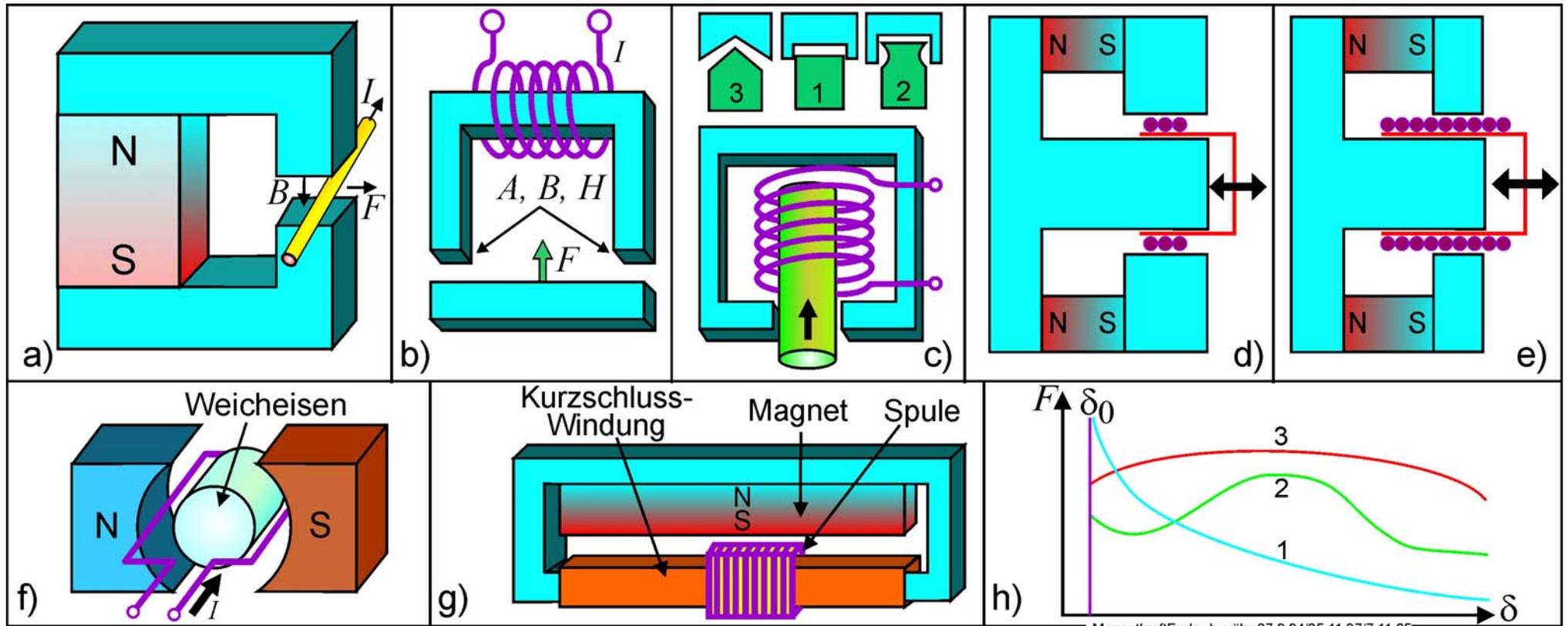
Erzeugt Bewegung im Magnetfeld Elektrizität dann muss auch Elektrizität *Bewegung* im Magnetfeld hervorrufen usw.

Oben ist gezeigt, dass elektrische und magnetische Effekte eng miteinander verknüpft sind.

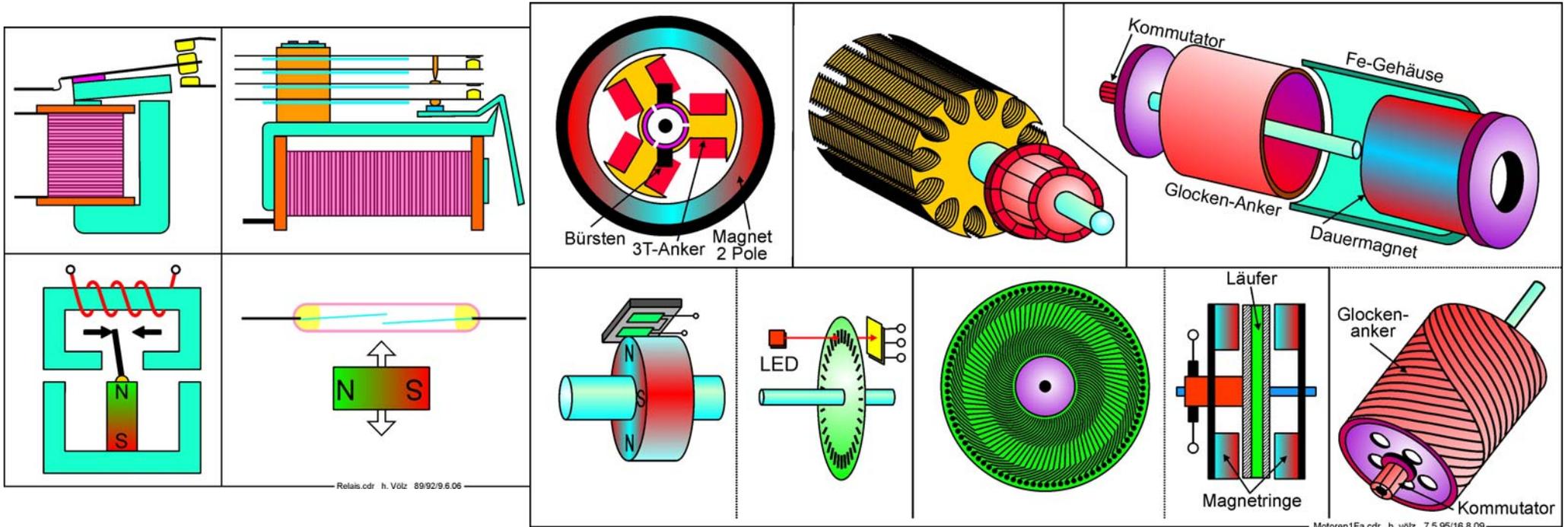
Nun sei ergänzt, dass Elektromagnetismus auch mit vielfältigen Bewegungen gekoppelt ist.

Als *Umkehrung der magnetischen Induktion* (Dynamo und Wandler) treten so Kraftwirkungen auf.

Sie sind Grundlage von *technischen Anwendungen*: Motor, Lautsprecher, Drehspulinstrument, Relais, Aktuator und magnetischer Anziehung.



- a) Prinzip der der Bewegung eines stromdurchflossenen Leiters im Magnetfeld.
- b) Anzugsmagnet c) durch Änderung der Kernform mit h) unterschiedlichen Kraftkurven.
- d) Lautsprecher (voice coil) mit kurzer und e) langer Schwingspule.
- f) Prinzip der Drehspule für Messinstrumente und Aktuatoren.
- g) linearer auf gebaute Aktuator.



Links Beispiele für Relais.

Rechts Beispiele für Motoren.

Überblick zu den drei Bereichen

Stationärer Strom, Elektrostatik und Magnetismus

Am übersichtlichsten erscheint den meisten der Zusammenhang elektrische Spannung \Leftrightarrow Strom

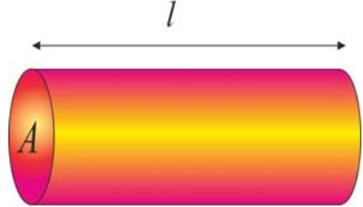
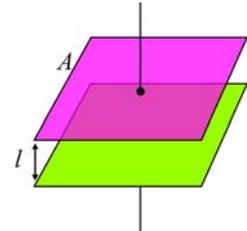
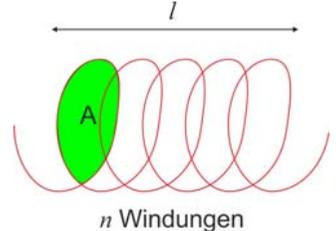
Hier helfen uns der tägliche Umgang mit dem Stromnetz und seine Geräte sowie die Batterie-Anwendungen.

Mit der Elektrostatik kennen wir fast nur die ungewollten Aufladungen und den damit verbundenen „Schlägen“.

Mit Magnetismus kommen wir zwar häufig in Berührung, aber von Feld und Induktion haben wir kaum Vorstellungen.

Aus diesen Gründen wurde die folgende Gegenüberstellung der drei Bereiche angefertigt.

Auch hier kann wieder ein Gummiband als Modell angenommen werden. Zug entspricht der Ursache, die Länge der Wirkung.

	Stationärer Strom	Elektrostatik	Magnetismus
Phänomen, Ursprung	bewegte Ladungen, z. B.: Elektronen, Löcher, Ionen	ruhende Ladungen	magnetische Dipole, bewegte Ladungen
Ursache (Feldstärke)	E in V/m	E in V/m	H in A/m
Feld-Wirkung	Stromdichte i [A/m^2]	Verschiebung D [C/m^2]	Flussdichte = Induktion B [T]
Kenngroßen	σ Leitfähigkeit = $1/\rho$ ρ spezifischer Widerstand	$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ $\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m	$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r; \chi = \mu_r - 1$ $\mu_0 \approx 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m
Gesetze	$i = E \cdot \sigma = E/\rho$ $I = dQ/dt$	$D = \epsilon \cdot E$ $I = dQ/dt$	$B = \mu \cdot H$ $U = d\Phi/dt$
Bezug auf Fläche A	Stromstärke $I = i \cdot A$ in Ampere = A	Ladung $Q = D \cdot A$ in Coulomb = C	Fluss $\Phi = B \cdot A$ in Weber = Wb = V·s
Bezug auf Länge oder Abstand l	Spannung $U = E \cdot l$ in Volt = V	Spannung $U = E \cdot l$ in Volt = V	Durchflutung $V = H \cdot l$ in Ampere = A
Bauelement, Maßeinheit	Draht: $R = \rho \cdot l/A$ Ohm = Ω	Kondensator: $C = \epsilon \cdot A/l$ Farad = F	Induktivität: $L = n^2 \cdot \mu \cdot A/l$ Henry = H
Energie Energiedichte	$N = U \cdot I \cdot t$ $w = I \cdot E \cdot t$	$N = C \cdot U^2/2$ $w = D \cdot E/2$	$N = L \cdot I^2/2$ $w = B \cdot H/2$
Struktur des Bauelements			

Elektrische Ladung, elektrischer Strom und Magnetfeld

bedingen sich wechselseitig (Natursymmetrie):

Elektrische Ladung \Rightarrow elektrisches Feld

Ladungen wirken aufeinander \Rightarrow ziehen sich an oder stoßen sich ab.

Wirkungen \Rightarrow Bewegungen.

Bewegte elektrische Ladungen \Rightarrow elektrischer Strom.

Elektrischer Strom \Rightarrow Magnetfeld.

Magnetische Felder wirken aufeinander \Rightarrow ziehen sich an oder stoßen sich ab.

Veränderung vom magnetischen Feld \Rightarrow induziert in Leitern elektrische Spannung.

Elektrische Spannung bei „geschlossenen“ Leitern \Rightarrow elektrischen Strom.

Diese komplexen Verkopplungen erfassen die MAXWELL-Gleichungen (JAMES CLERK MAXWELL; 1831 - 1879)

MAXWELL-Gleichungen

Formeln

$$\nabla E = 4 \cdot \pi \cdot \rho$$

$$\nabla B = 0$$

$$\nabla \times E + \frac{1}{c} \dot{B} = 0$$

$$\nabla \times B - \frac{1}{c} \dot{E} = \frac{4 \cdot \pi}{c} \cdot j$$

Es bedeuten

$$\nabla V = \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial z}$$

∇ spricht Nabla

\times = Vektorprodukt

E = elektrische Feldstärke

B = magnetische Induktion

c = Lichtgeschwindigkeit

ρ = Ladungsdichte

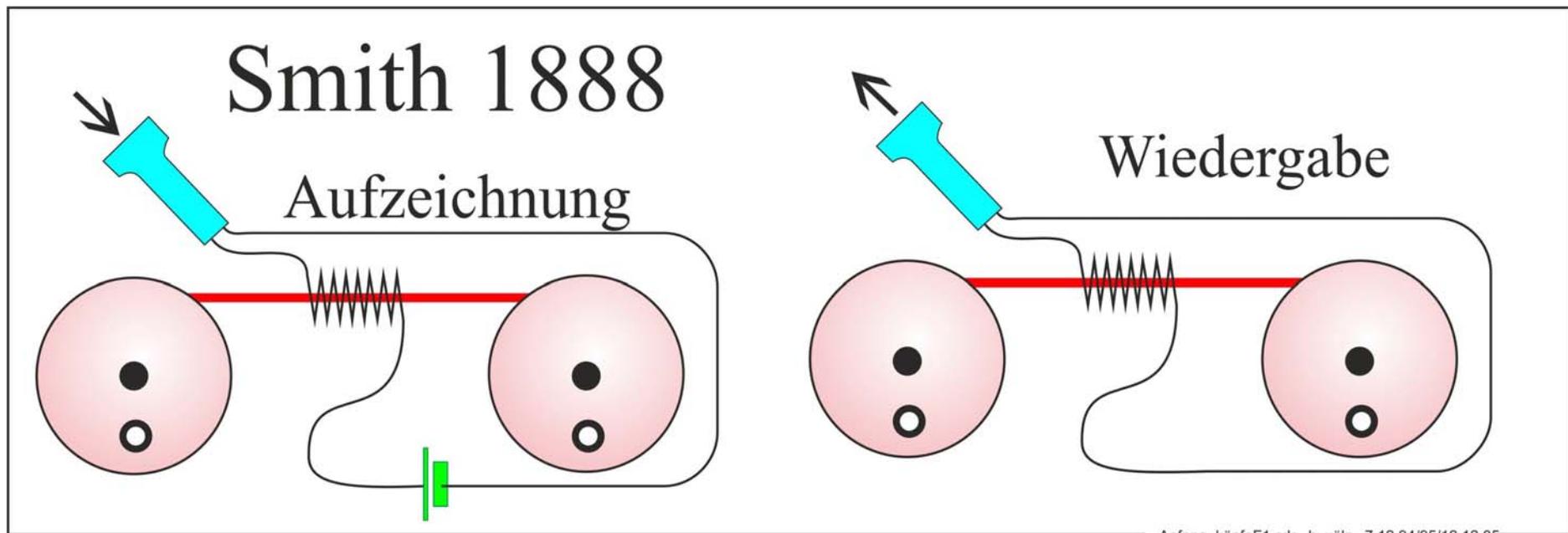
j = Stromdichte

Gliederung

1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
6. Das Magnetband
7. Das Transportwerk
8. Die HF-Vormagnetisierung
9. Nach dem Krieg
10. Breitenanwendung
11. Heimton- und Diktiertechnik

OBERLIN SMITH

Als Beginn der Schallspeicherung gilt heute allgemein der 18.7.1877. Hier besprach Edison seine erste Walze. Der Beginn der magnetischen Aufzeichnung ist ein Artikel in der amerikanischen Zeitschrift „The Electrical World“. In ihm beschreibt 1888 OBERLIN SMITH (1840 – 1926) einen „elektrischen Phonographen“ gemäß dem folgenden Bild. In einem Baumwollfaden sind Eisenfeilspäne bzw. Stahlpulver eingearbeitet. Dieser Faden wird mittels zwei Aufwickelspulen durch eine elektrische Spule hindurch bewegt. Bei der Aufzeichnung magnetisieren Ströme, die durch ein Kohlemikrofon verändert werden, den Faden. Die so entstandene magnetische Remanenz bewirkt bei der Wiedergabe in der gleichen Spule eine Induktionsspannung. Sie wird mit einem Telefonhörer in Schall rückverwandelt. Es ist jedoch nur als Idee, die er technisch nicht erprobt hat.



Anfang_köpfeF1.cdr h. vözl 7.12.94/95/12.12.05

POULSEN Telegraphone

Das erste brauchbare Gerät schuf VALDEMAR POULSEN (1869 – 1942).

Hierfür erhielt er 1898 ein *Patent* als „Telegraphone“. Auf der Pariser Weltausstellung 1900 gewinnt es den *ersten Preis*.

Die *Messingwalze* hat 12 cm Durchmesser und 38 cm Länge. In ihre Oberfläche ist eine *vertiefte Spiralspur* eingefräst.

Hier kann ein *Stahldraht von 1 mm Durchmesser und 150 m Länge* präzise aufgewickelt werden

Er dient neben der Speicherung auch zur Führung des Magnetkopfes,

Durch schnelles Drehen mit der Kurbel wird eine Relativgeschwindigkeit *um 20 m/s* erreicht.

Die Aufzeichnungsdauer lag bei *maximal einer Minute*.

Erst Ende der 1970er Jahre wurde eine Walze mit KAISER FRANZ JOSEPH I (Österreich, 1830 – 1916) entdeckt.

Er hatte sie am 20.9.1900 besprochen:

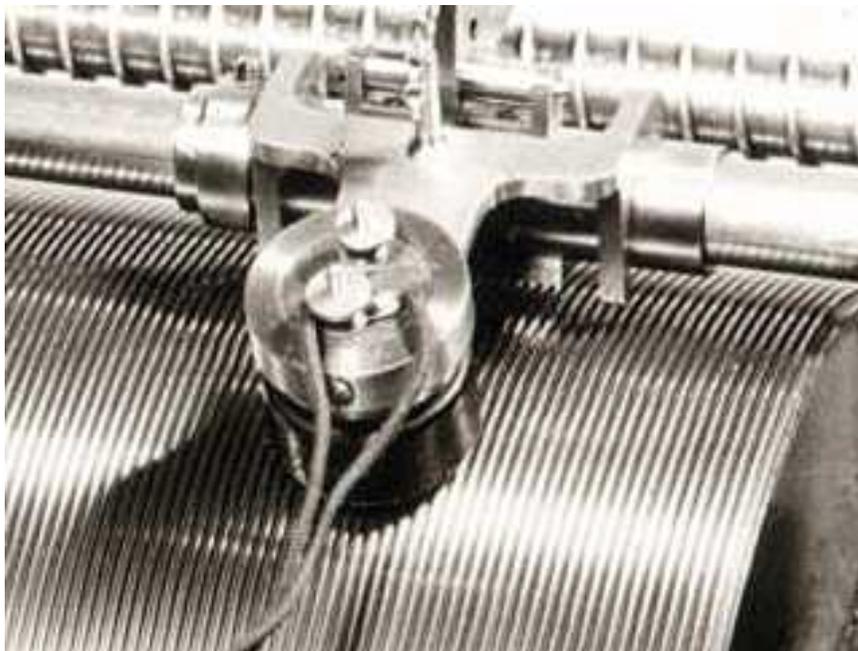
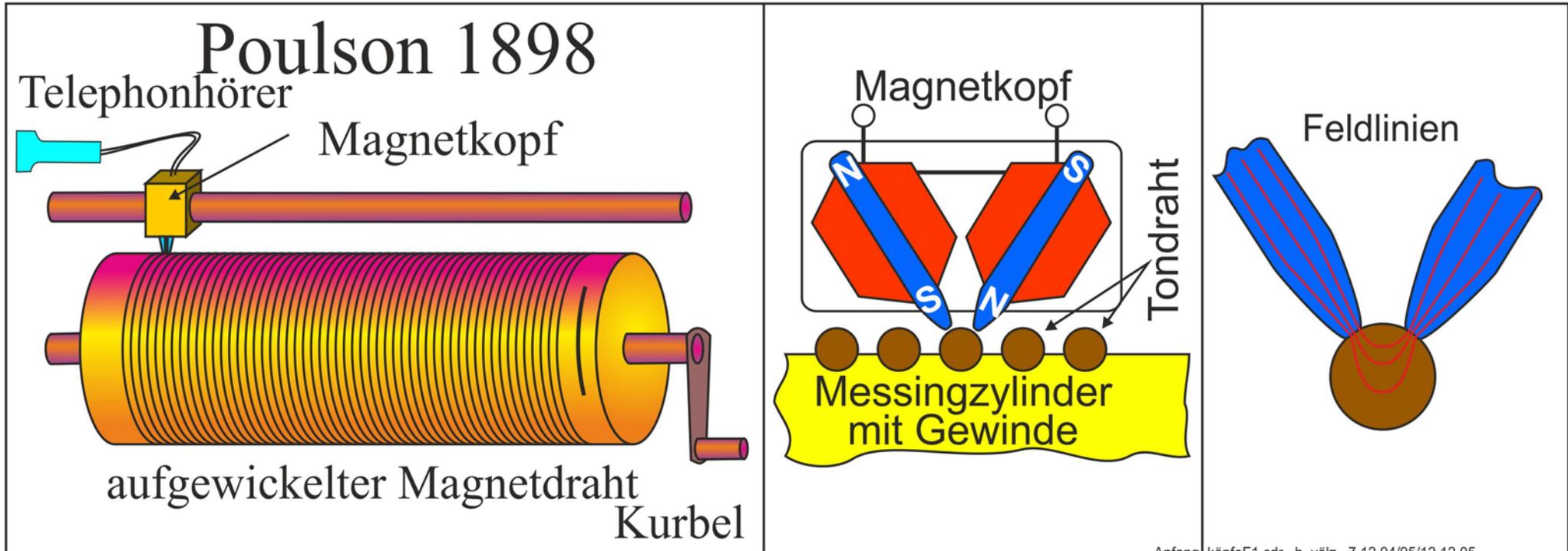
„Diese Erfindung hat mich sehr interessiert, und ich danke für die Vorführung derselben.“

Der Magnetkopf besteht aus zwei Eisenkernen, die durch je eine Spule erregt werden.

Sie berühren den Draht seitlich von oben. Die Magnetisierung des Drahtes erfolgt einseitig.

Bereits 1900 wird ein ähnliches Gerät in der Schweiz als Telefonbeantworter benutzt.

Ab 1906 wird es in Deutschland als Diktafon eingesetzt.



Weiterentwicklung

1902 ersetzt POULSEN den Messingzylinder durch *zwei Spulen* mit ausgewickeltem Draht.
So kann er die Spielzeit deutlich verlängern.

Hierdurch kann sich aber der Draht um die Rotationsachse „verdrehen“ (*Drall*)

Infolge der unsymmetrischen Aufzeichnung entstehen dadurch dann Schwankungen der Wiedergabe-Lautstärke (DDR Patent Profilseide)

1907 führt POULSEN daher einen deutlich *dünnere* *Stahldraht* ein, der durch den Magnetkopf hindurch geführt wird
Neue Probleme treten nun auf, wenn der *Draht reißt*. Er muss dann *verknötet werden*.

Für den Durchlauf des Knotens muss sich daher *Kopf automatisch öffnen* können.

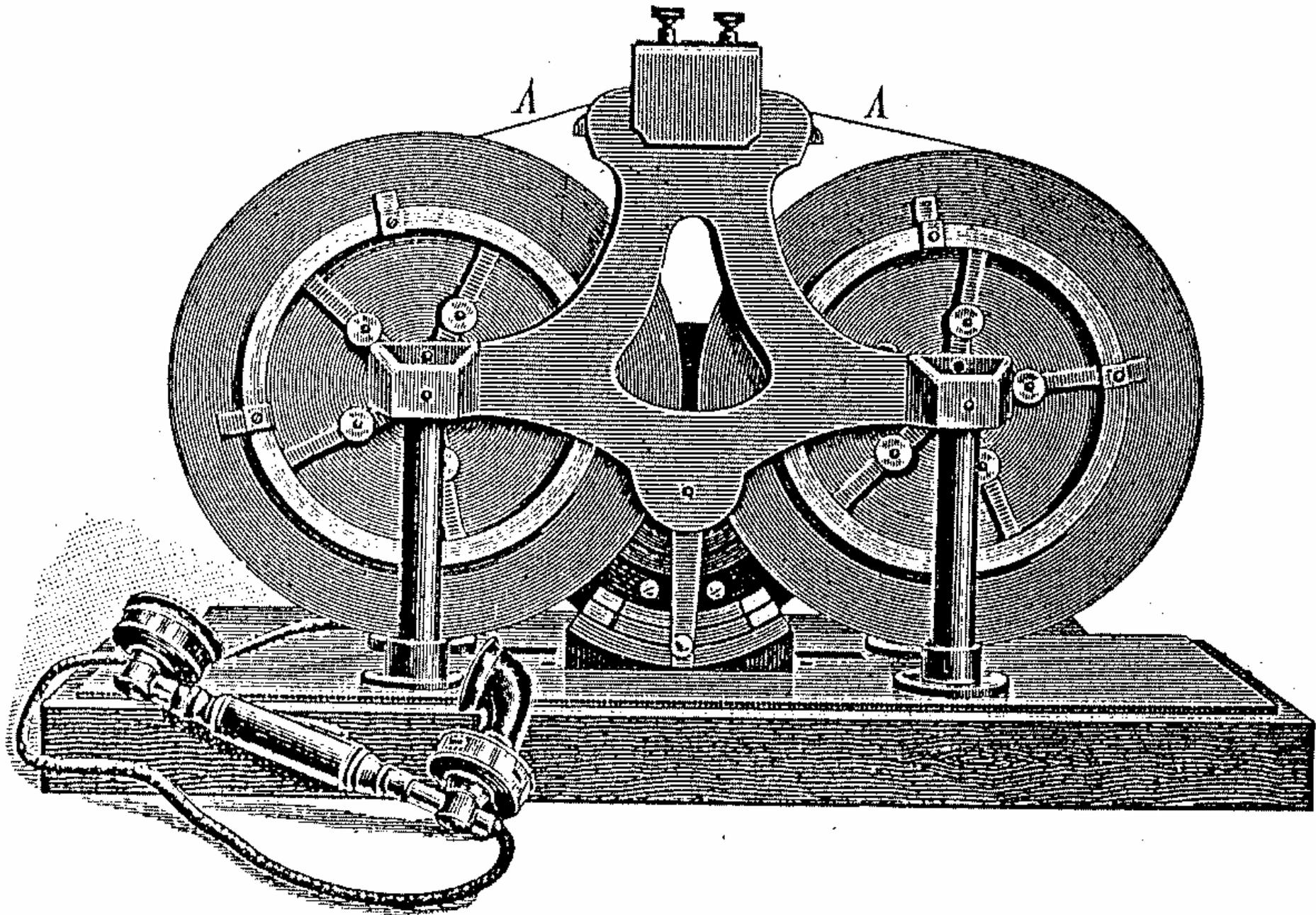
Eine breite Anwendung erreichte die Drahtton-technik ab etwa 1920 durch Einführung der *elektronischen Verstärkung*.

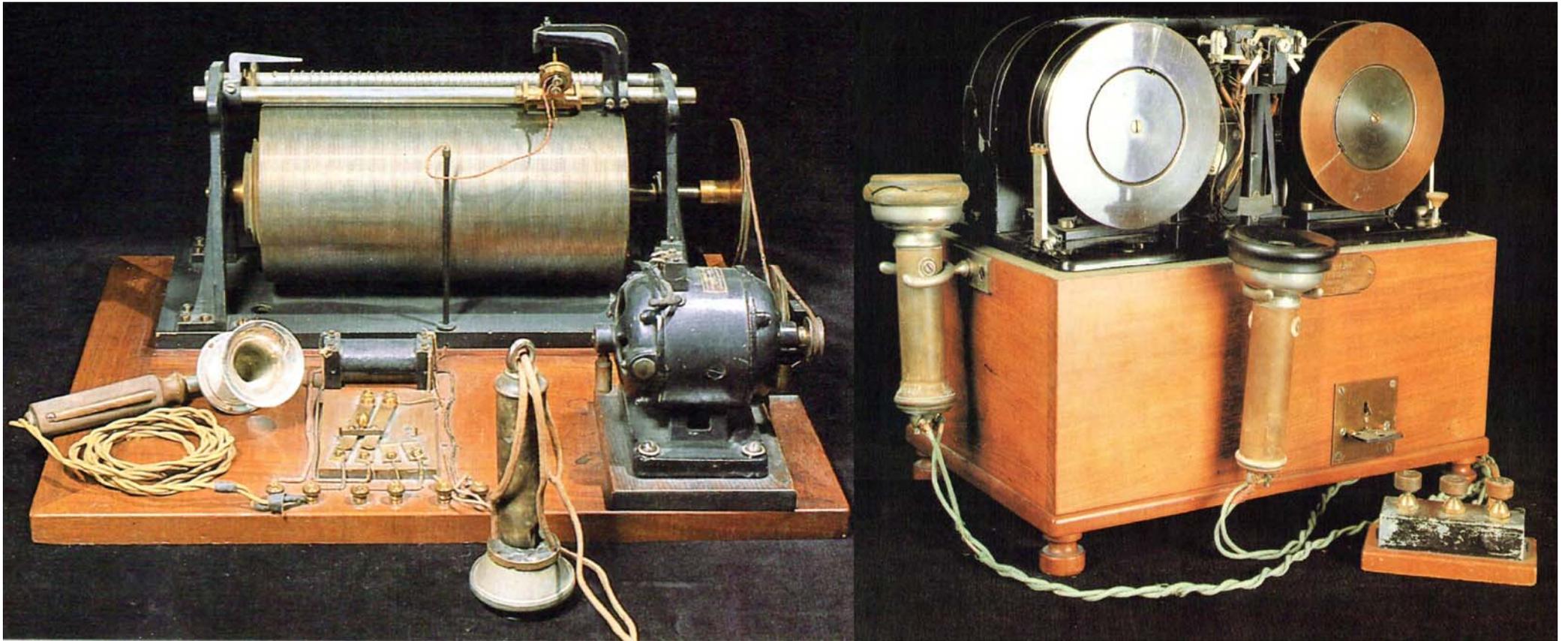
Das Drahtton-Prinzip wurde aber *noch bis vor etwa zehn Jahren*, insbesondere für Sonderzwecke benutzt.

Gegenüber dem Magnetband widersteht der Stahldraht *extrem thermische und mechanische Belastungen*

Sie treten z.B. bei einem *Brand oder Flugzeugabsturz* auf: black box, Flugschreiber.

Außerdem ermöglicht die Technik *kleinste Geräte* großer *Spieldauer* u.a. für die Spionage.



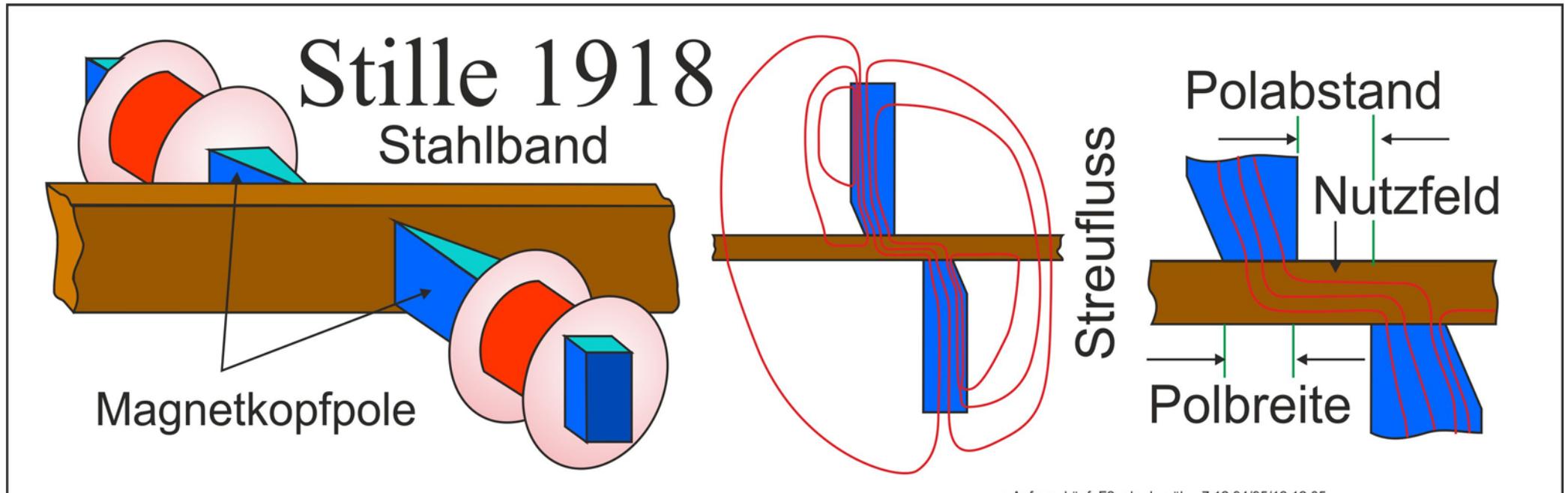


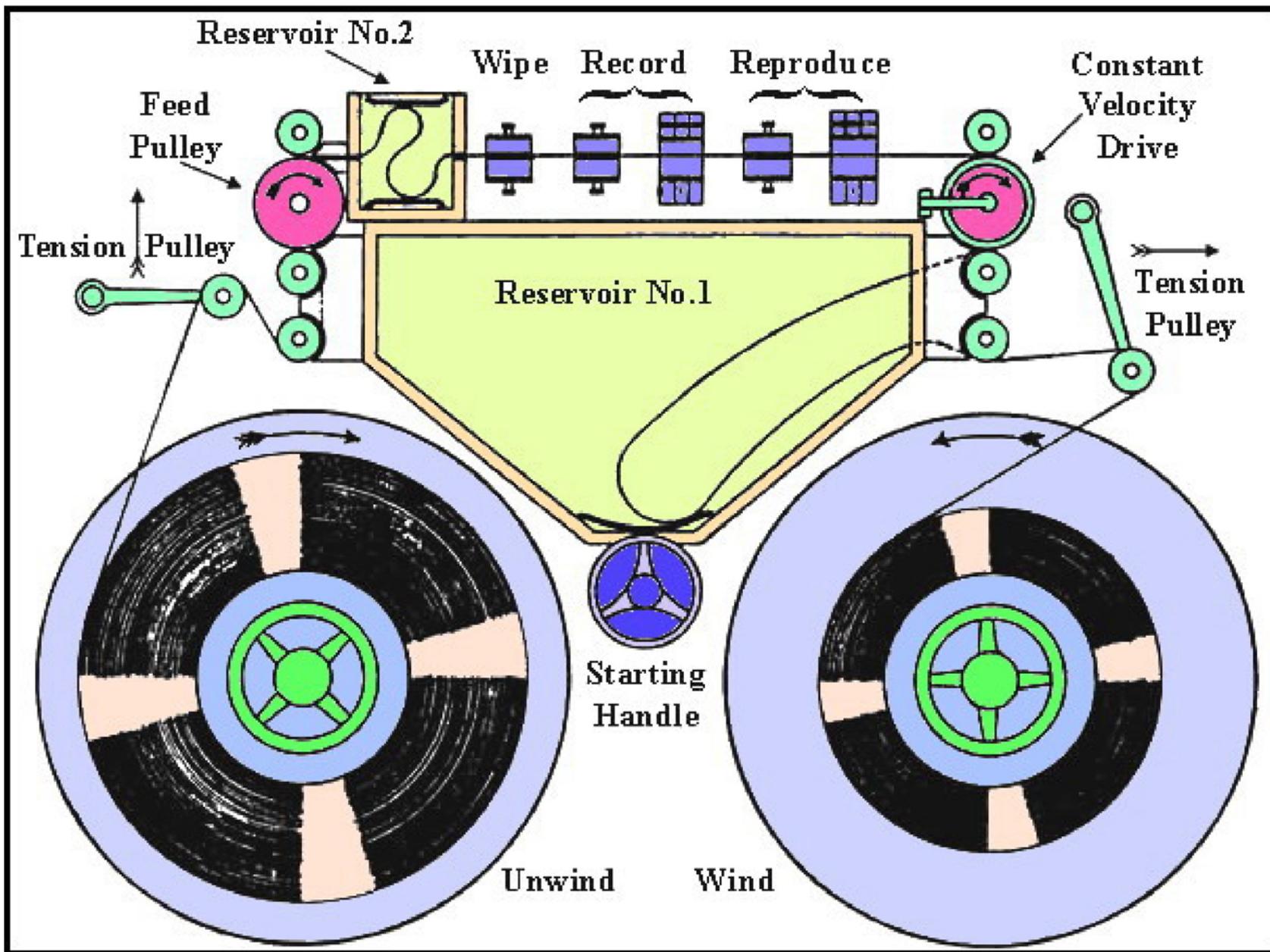
Gliederung

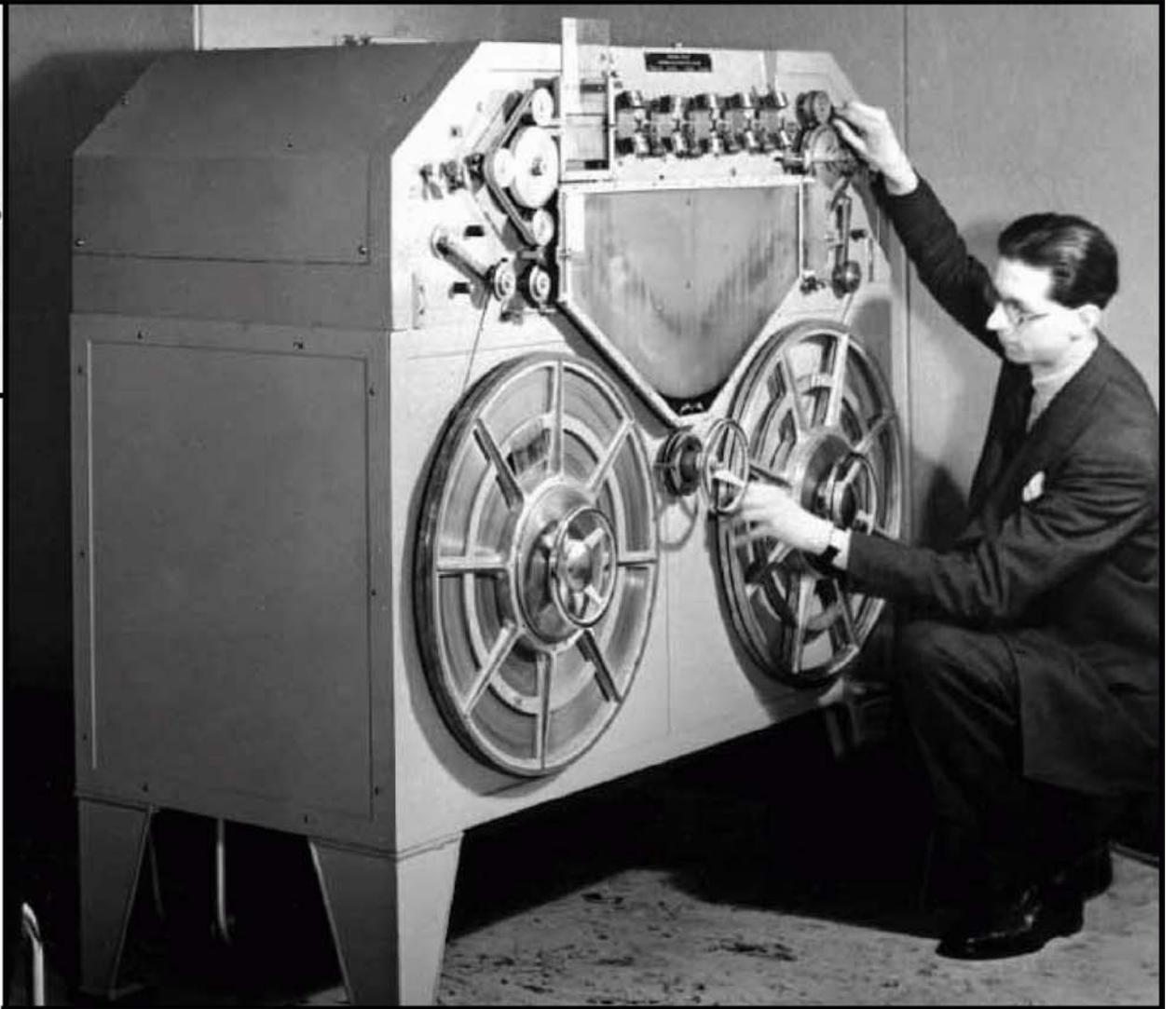
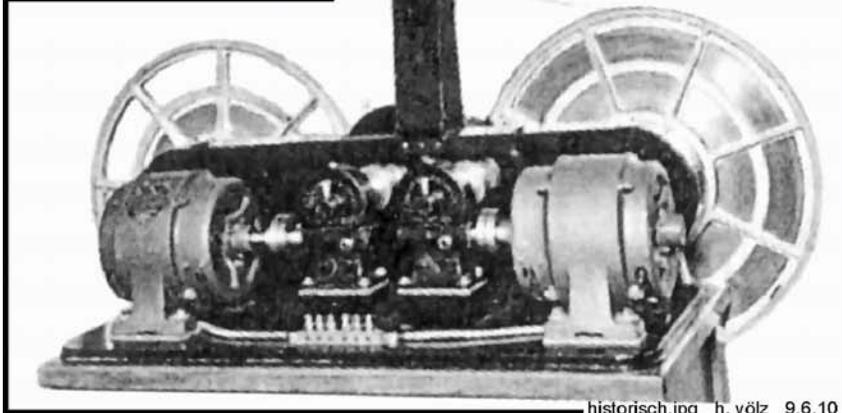
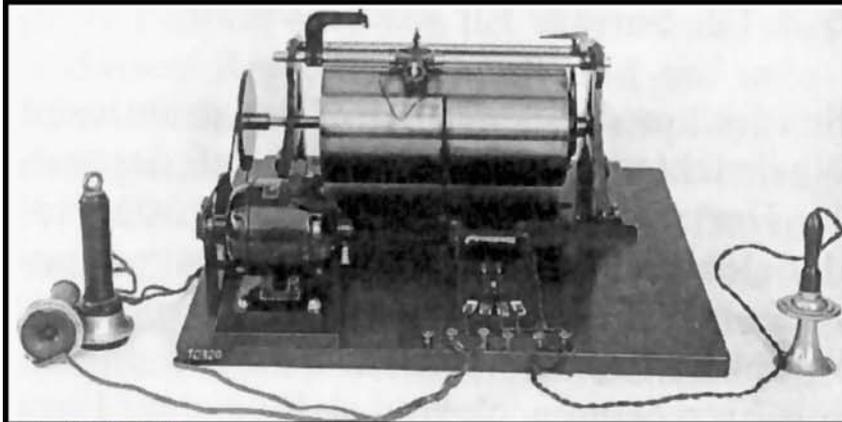
1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
6. Das Magnetband
7. Das Transportwerk
8. Die HF-Vormagnetisierung
9. Nach dem Krieg
10. Breitenanwendung
11. Heimton- und Diktiertechnik

CURT STILLE

1918 entwickelte CURT STILLE (1873 – 1957) das *flache Stahlband* und den Drall-Effekt zu vermeiden
Er ordnete die beiden Pole in Bandrichtung leicht versetzt an.
Längsaufzeichnung mit dem Nachteil Pole auf beiden Seiten des Bandes







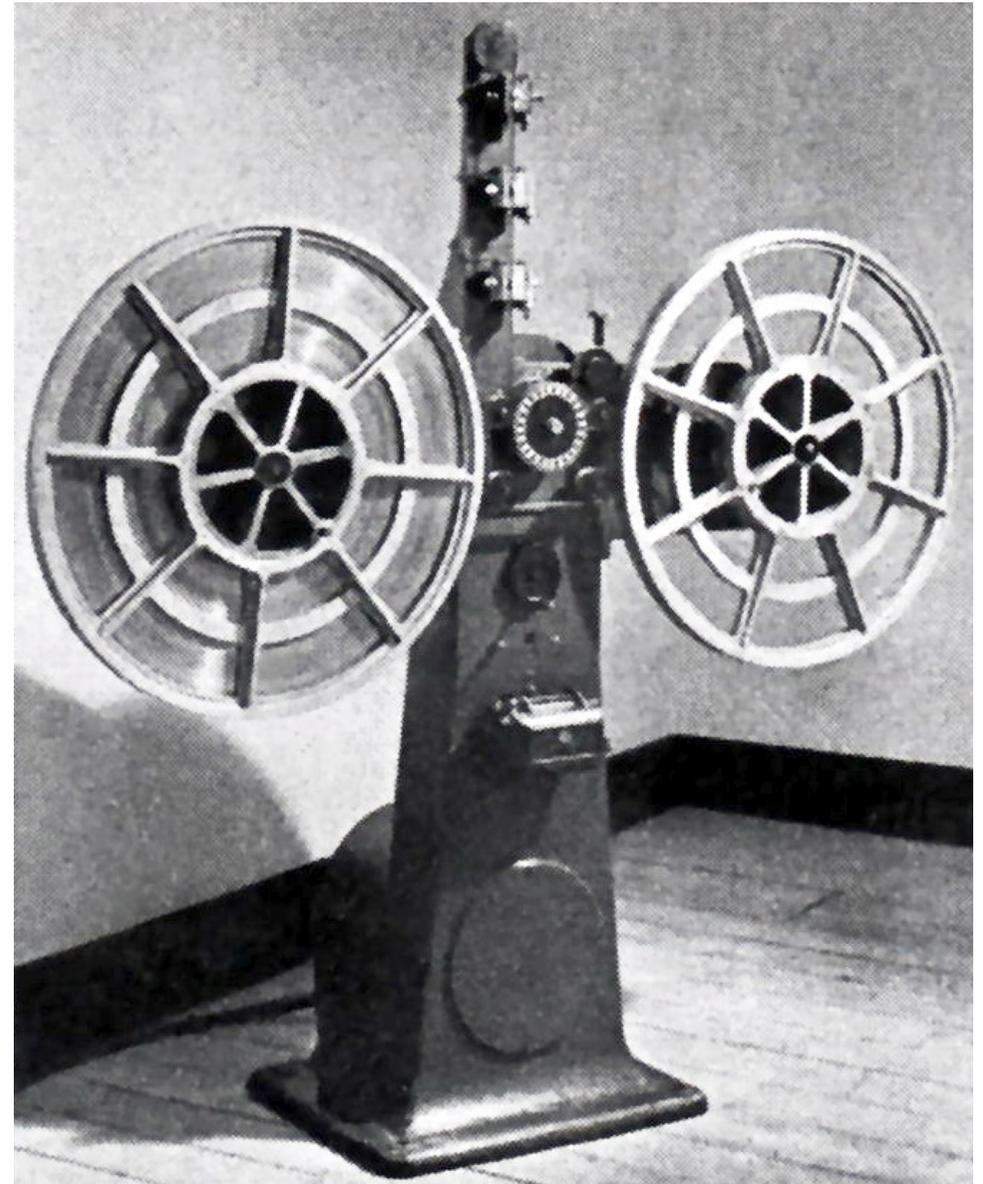
E. Blattner

Das Stille-Patent wurde von E. BLATTNER erworben und entwickelte daraus das Blattnerphone.

Es wurde ab *1929 bis in die 40er Jahre* von der BBC benutzt.

Bild rechts: Ein frühes Gerät.
vorangehendes Bild rechts unten ein späteres Gerät.

Das vermutlich erste *Digital-Band-Gerät* wurde 1949/50 beim Rechner EDVAC (Nachfolger der ENIAC) verwendet. Es arbeitete mit *Stahlband* von $\frac{1}{2}$ Zoll (1,27 cm) Breite, 1500 Fuß (ca. 450 m) Länge und 1 mil (25 μ m) Dicke. Bei 100 ips (2,54 m/s) wurden 7 Daten- und 1 Taktspur verwendet. Die Speicherdichte betrug 128 bpi (5 Bit/mm).



Gliederung

1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
6. Das Magnetband
7. Das Transportwerk
8. Die HF-Vormagnetisierung
9. Nach dem Krieg
10. Breitenanwendung
11. Heimton- und Diktiertechnik

Entwicklung der Magnetköpfe

Bei der Entwicklung der Magnetköpfe sind drei frühe Etappen zu unterscheiden

1. POULSON wirkte 1898 auf seinen Magnetdraht mit zwei Polen ein.

Es gibt Probleme, wenn sich der Draht bei der Wiedergabe gegenüber der Aufzeichnung um seine Achse *verdreht*.

2. Mit dem Übergang zum massiven Stahlband erreichte STILLE 1918 die erste *Längsaufzeichnung*.

Besonders nachteilig ist die Anordnung der Pole *auf beiden Seiten* des Bandes und die *zusätzliche Queraufzeichnung*.

3. Für die Weiterentwicklung wurde zunächst 1927 das „*Schicht*“-Band von PFLEUMER (s. u.) erfunden werden.

1932 schuf EDUARD SCHÜLLER (1904 – 1976) nachdem er viele andere Varianten erprobt hatte, den *Ringkopf*.

Er besitzt vor allem *drei große Vorteile*:

- Der *Magnetkreis ist geschlossen* und besitzt daher einen höheren Wirkungsgrad.
- Der Magnetkopf ist zur Vereinfachung der Transportwerke nur an *einer Seite* des Bandes anzuordnen.
- Sein *enger Spalt* ermöglicht eine hochdichte Aufzeichnung und Wiedergabe.

Seitdem sind nur noch kleine Änderungen eingetreten.

Die entscheidende *theoretische Arbeit* hierzu schuf 1954 WESTMIJZE.

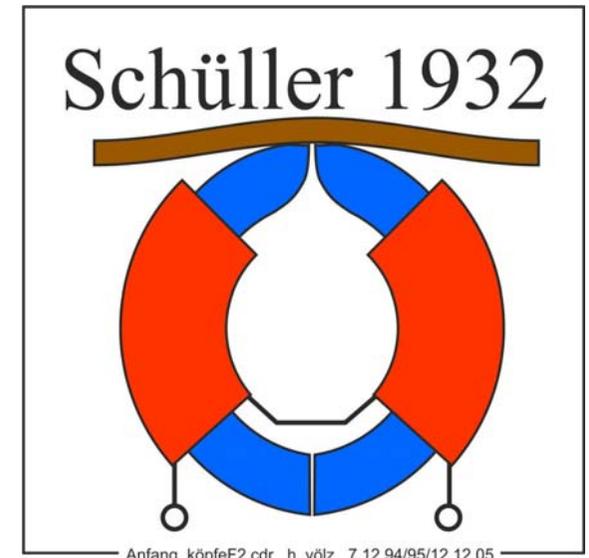
Anschaulich ist es *schwer einzusehen*, was bei der *Wiedergabe* des Bandes geschieht:

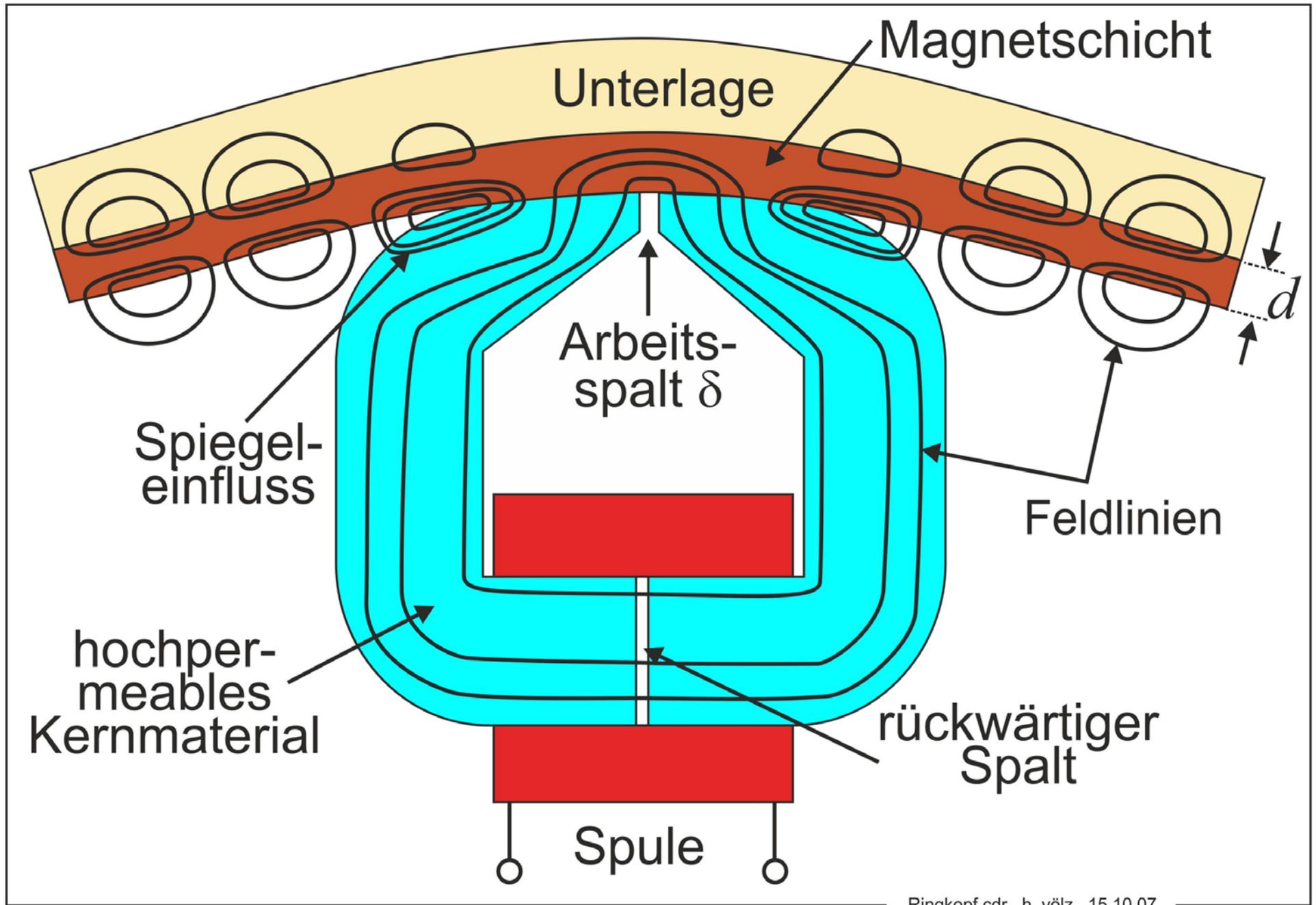
Nämlich, dass fast alle Energie nicht durch den Spalt, sondern *durch die Halbschenkel* des Kopfes mit den Spulen geht.

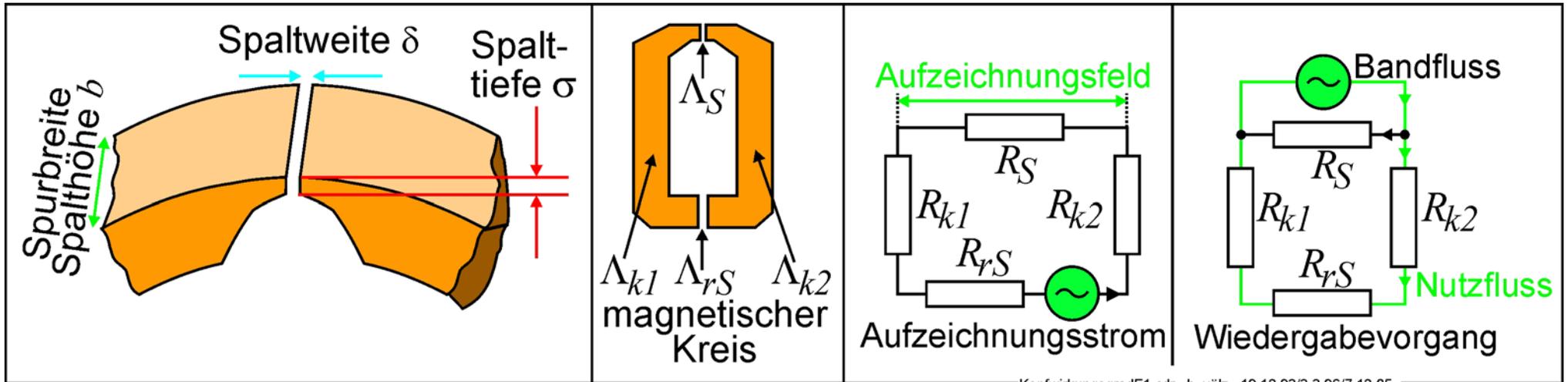
Von seltenen Ausnahmen abgesehen, ist er das Prinzip *aller heutigen induktiven* (Aufzeichnungs- und Lösch-)Köpfe.

Für die *Wiedergabe* wird in der heutigen digitalen Technik der *magneto-resive Kopf* benutzt.

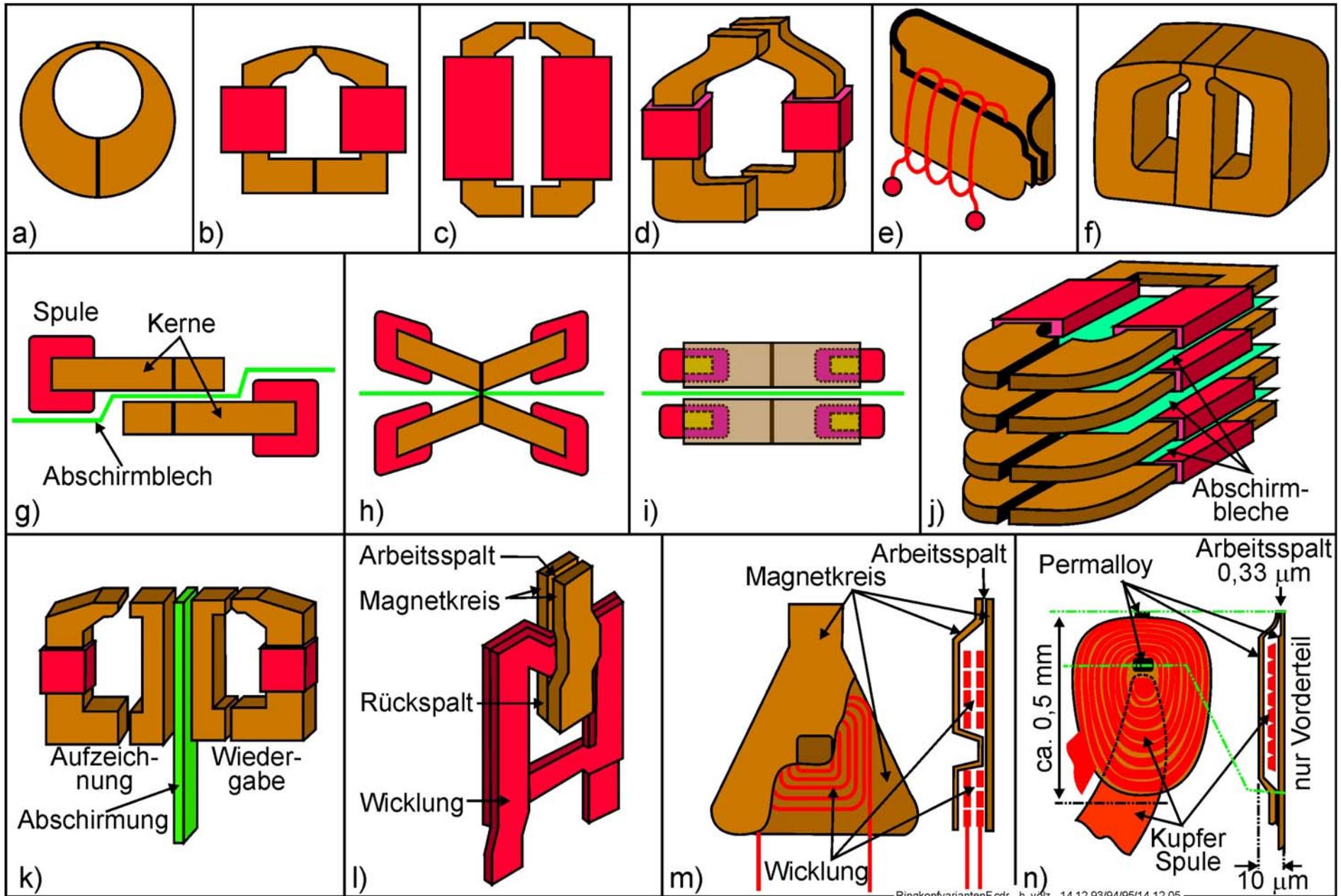
Für die *Senkrechtaufzeichnung* entsteht ein besonderer Kopf, der eine geringe Ähnlichkeit mit dem STILLER-Kopf hat.

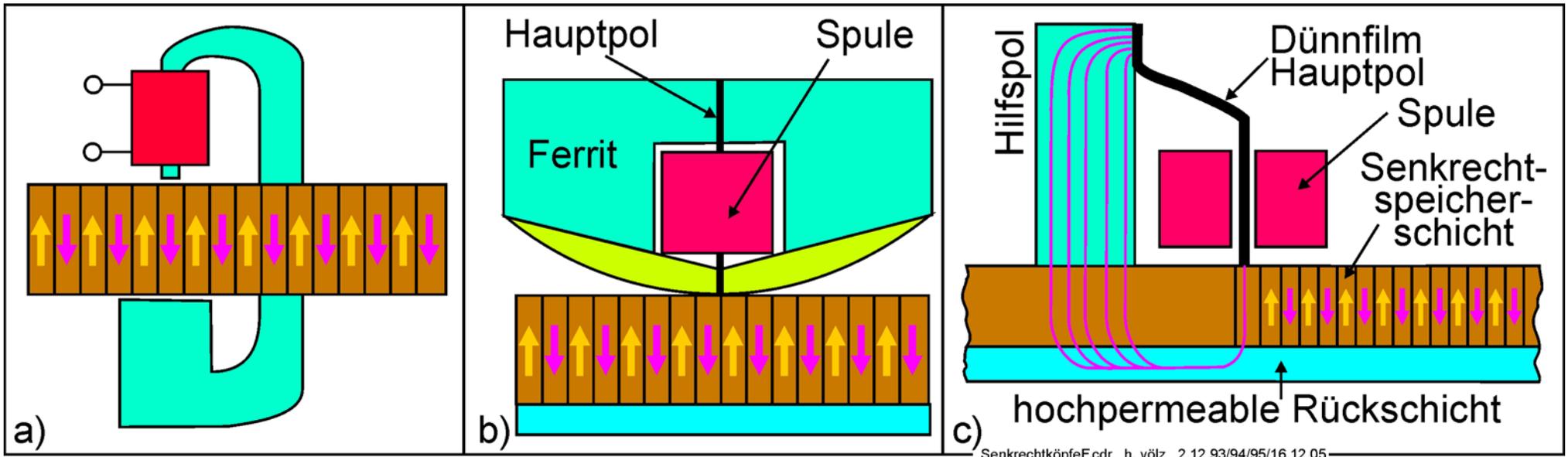


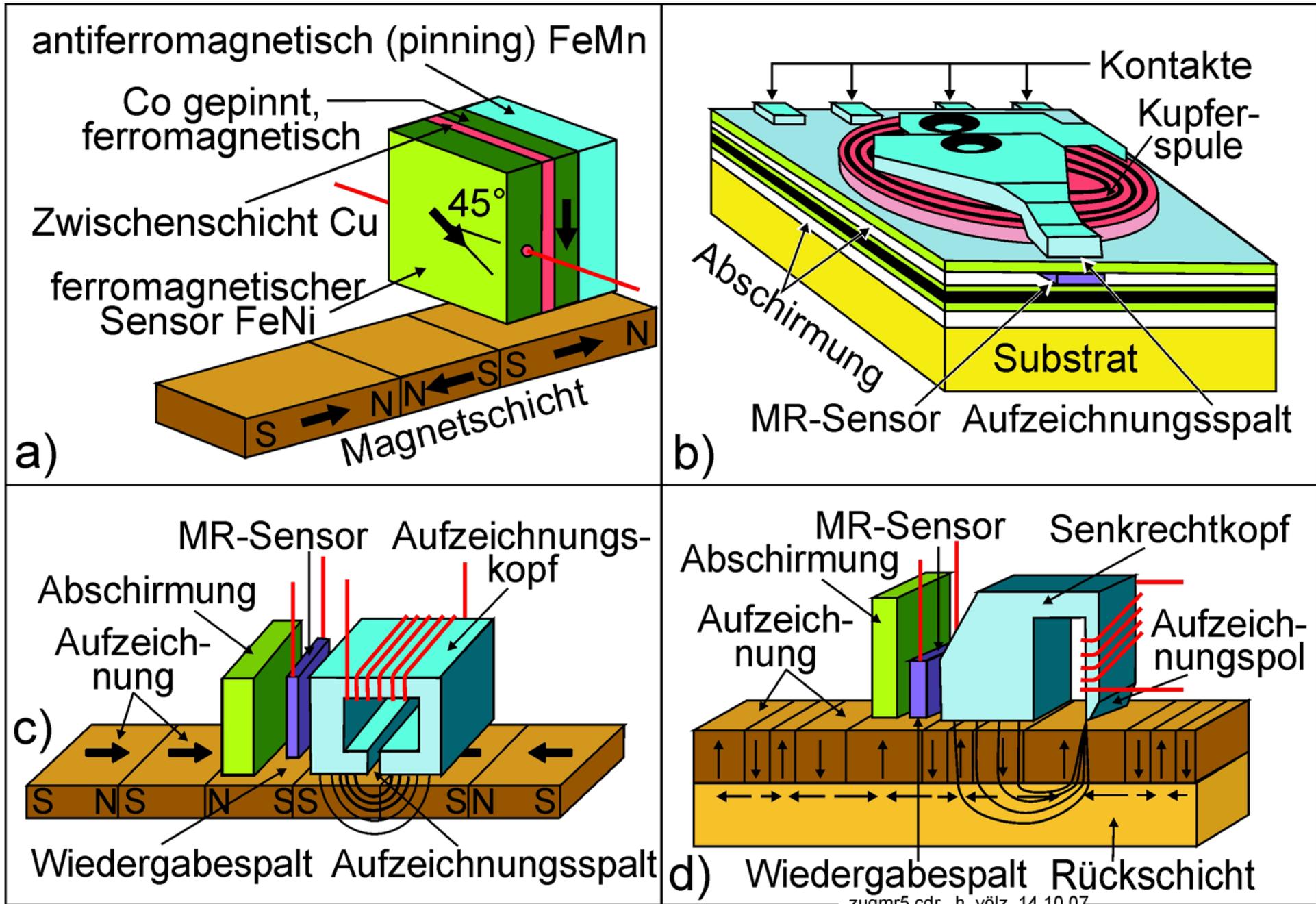




KopfwirkungsgradF1.cdr h. vözl 19.12.93/3.3.96/7.12.05







Gliederung

1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
- 6. Das Magnetband**
7. Das Transportwerk
8. Die HF-Vormagnetisierung
9. Nach dem Krieg
10. Breitenanwendung
11. Heimton- und Diktiertechnik

Das Magnetband

Auch für den magnetischen Informationsträger gab es mehrere Etappen.

1. Zunächst wählte 1898 POULSON den Draht und machte ihn immer dünner, der Drall-Effekt blieb unvermeidbar. Dennoch wurde er für einige Anwendungen bis in die 1980er Jahre verwendet,
2. dann führte STILLE 1918 führte dann das Stahlband ein. Es wurde in der BLATTNER-Variante bis in die in 1940er Jahre bei der BBC benutzt.
3. 1927 erfand schließlich FRITZ PFLEUMER (1897 – 1945) das noch heute ähnlich gebräuchliche Magnetband.

PFLEUMER beschichtete dafür ein *Papierband mit Eisenpulver* und führte es 1928 der Presse vor

Besonders zeigte er einen wichtigen Vorteil: Das im Lauf *zerrissene Band* ließ sich augenblicklich zusammenkleben. Die Klebestelle war danach *praktisch unhörbar* war.

Zusätzlich vermeidet ein solches Band den sehr gefürchteten „*Drahtsalat*“ und hat einen *geringeren Kopiereffekt*. Auf Vorschlag der AEG übernahm die Badische Anilin- und Sodafabrik die Entwicklung.

1932 standen die ersten Versuchsbänder mit Eisenpulver auf Acetylcellulose zur Verfügung.

1934 lieferte die BASF 50 km Band für die Funkausstellung.

1935 wurde statt des Eisenpulvers der schwarze **Magnetit Fe₃O₄** später das braune **γ-Fe₂O₃** benutzt.

1939 verließen bereits 5 000 km Band das Werk.

1943 wurde als Träger „Luwitherm“ verwendet.

Breits vor 1945 bestritten die Deutschen Rundfunkanstalten bereits **90 % der Sendezeit** mit Bandaufnahmen.

Nach dem Kriege wurde eine alte Anlage in Gendorf (Marke Geneton) wieder in Betrieb genommen.

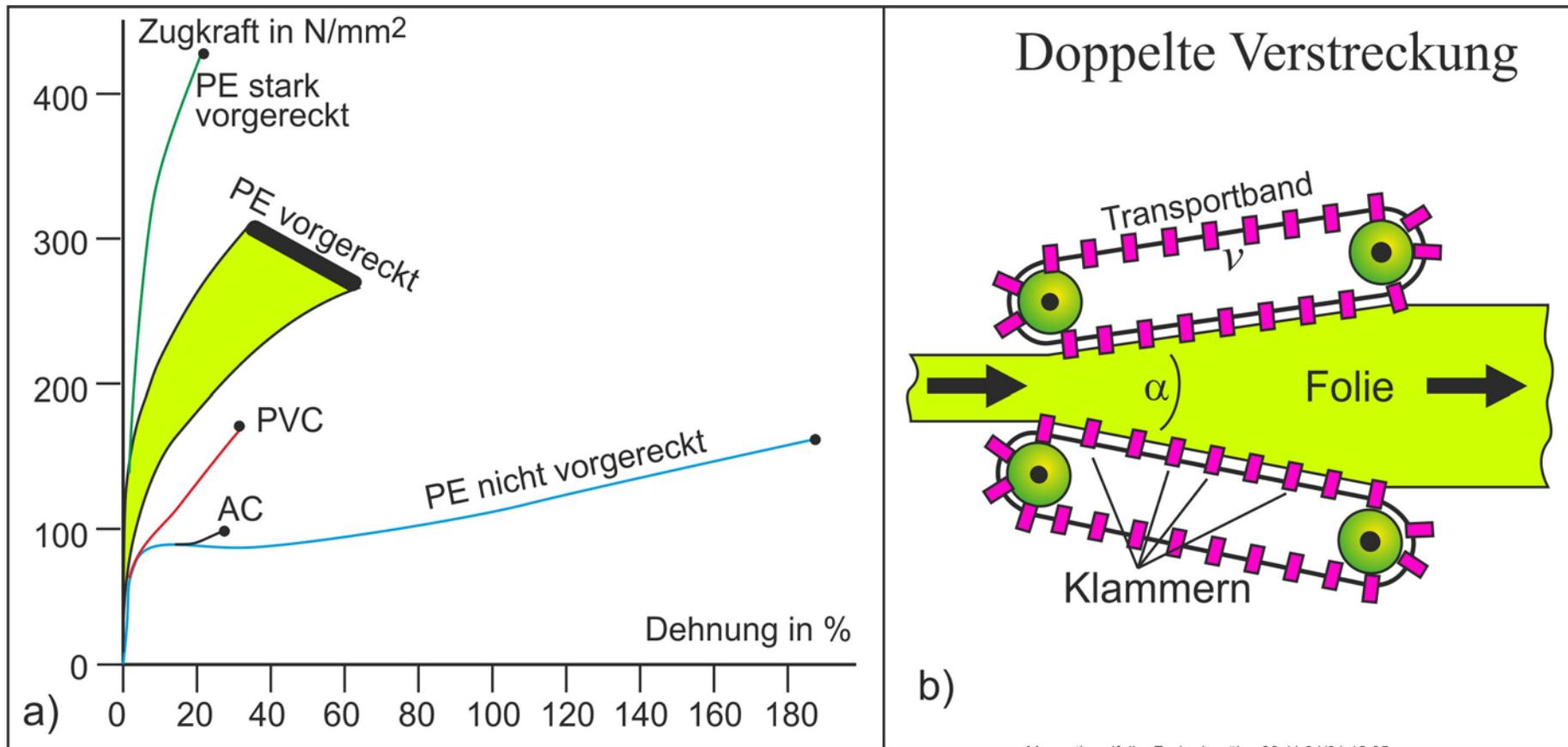
Und die 1943 nach Wolfen ausgelagerte Produktion entwickelte eine beachtliche Bedeutung.

In *Japan soll* unabhängig von PFLEUMER ähnlicher Tonträger entwickelt worden sein soll, wurde aber wohl nicht benutzt.



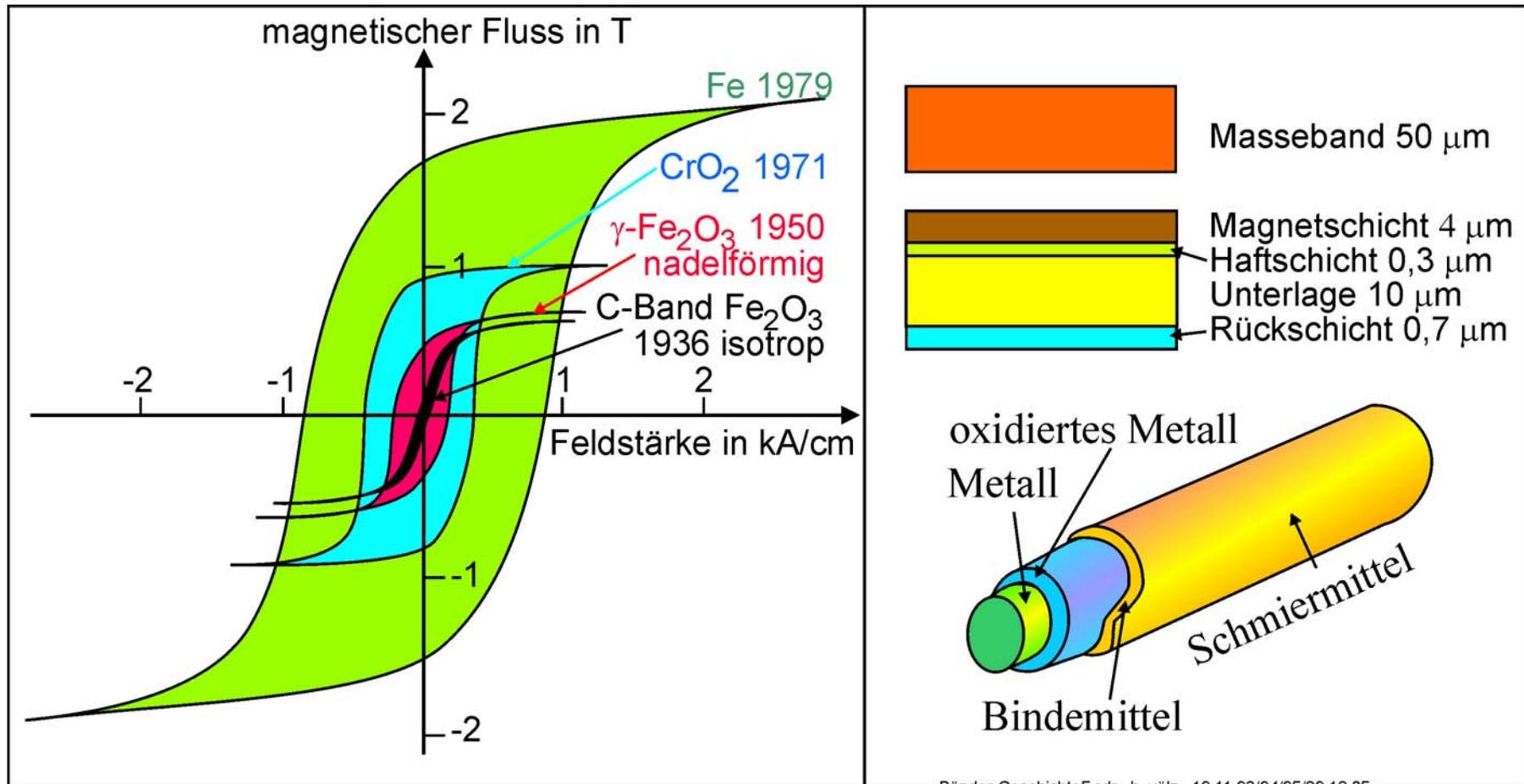
Weiterentwicklungen der Folien

Die üblichen Magnetbänder sind Schichtbänder. Sie benötigen eine Unterlage etwa 10 bis 50 μm . Das verlangte schließlich speziell vorgerecktes **Polyester**. Es durfte nur geringe plastische Dehnung aufweisen. Plastische Dehnung würde Verzerrungen und Verformungen nach dem Belasten oder gar Zerreißen des Bandes bedeuten. Zerreißen ohne plastische Dehnung ermöglicht daher „Papierkorb-Betrieb“ und späteres Kleben.

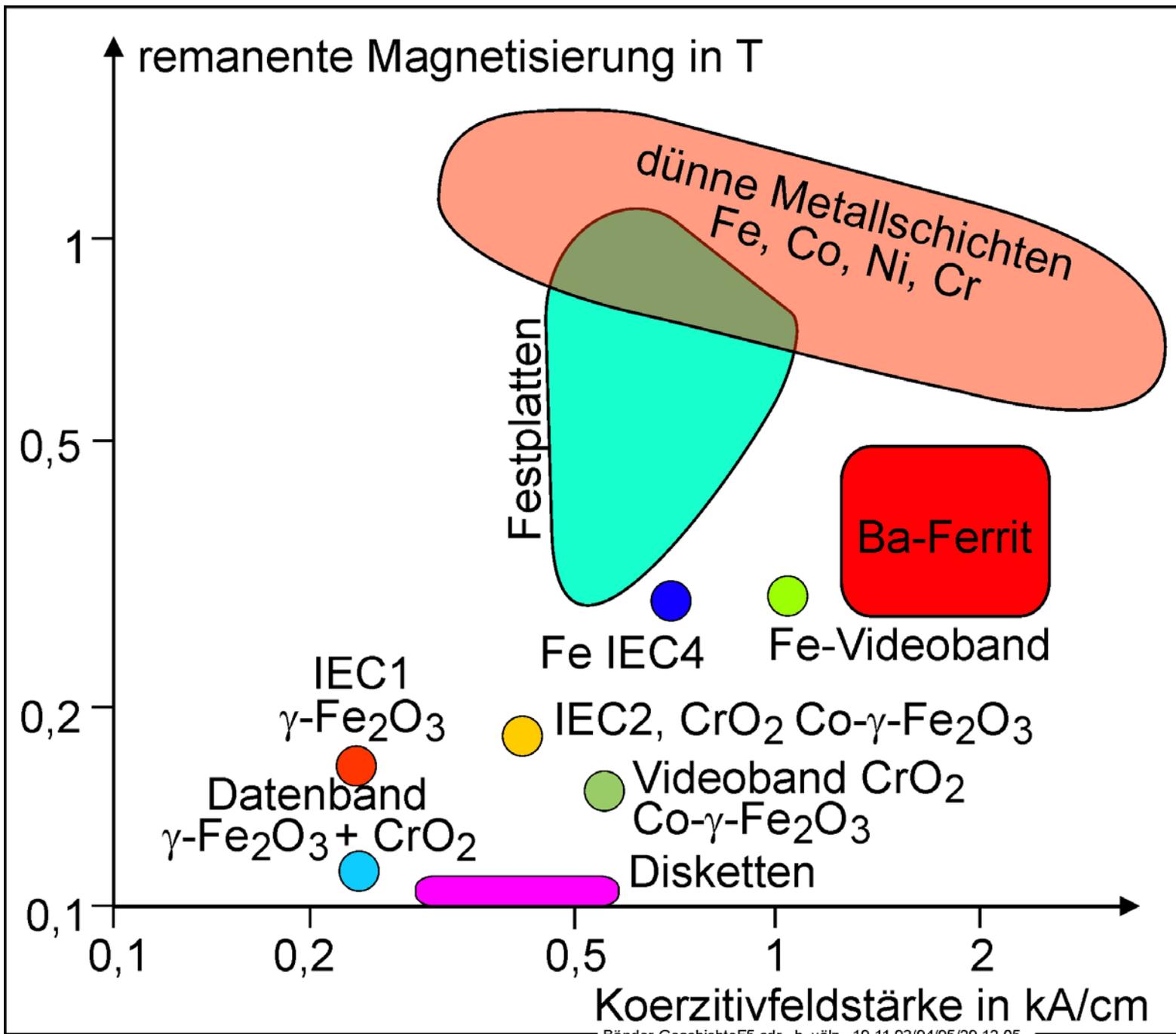


Weiterentwicklung der Schicht

Noch mehr viel intensiver wurde die dünne aufgebrauchte Speicherschicht weiterentwickelt. Die ersten würfelförmigen Partikel wurden ab 1950 durch nadelförmige mit hoher Anisotropie ersetzt. Das $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ wurde dann auf vielfältige Art dotiert. Zeitweilig kam auch CrO_2 zum Einsatz. Erst 1979 kamen Reinst Eisen-Partikel mit besonderen Schutzmaßnahmen zum Einsatz.



Bänder-GeschichteF.cdr h. vözl 19.11.93/94/95/29.12.05



Bänder-GeschichteF5.cdr h. vözl 19.11.93/94/95/29.12.05

Bandherstellung

Für die Herstellung Bandes müssen zunächst die Unterlage, Folie und Beguss-Emulsion hergestellt werden.

Für die Folie wird das *gekörnte und erhitzte (flüssige) Granulat aus Schlitzdüsen* gepresst

Dann wird es *bidirektional verstreckt*.

Dabei entstehen Rollen von mehr als 1 km Länge und reichlich 1 m Breite, die in Lagern bereit gehalten werden.

Da *Magnetmaterial* wird in großen Kesseln hergestellt und anschließend mit *Zusatzstoffen gemischt*.

In großen Kugelmøhlen wird es so lange bearbeitet bis *weitgehend einzelne Partikel* in dem Dispergat vorliegen.

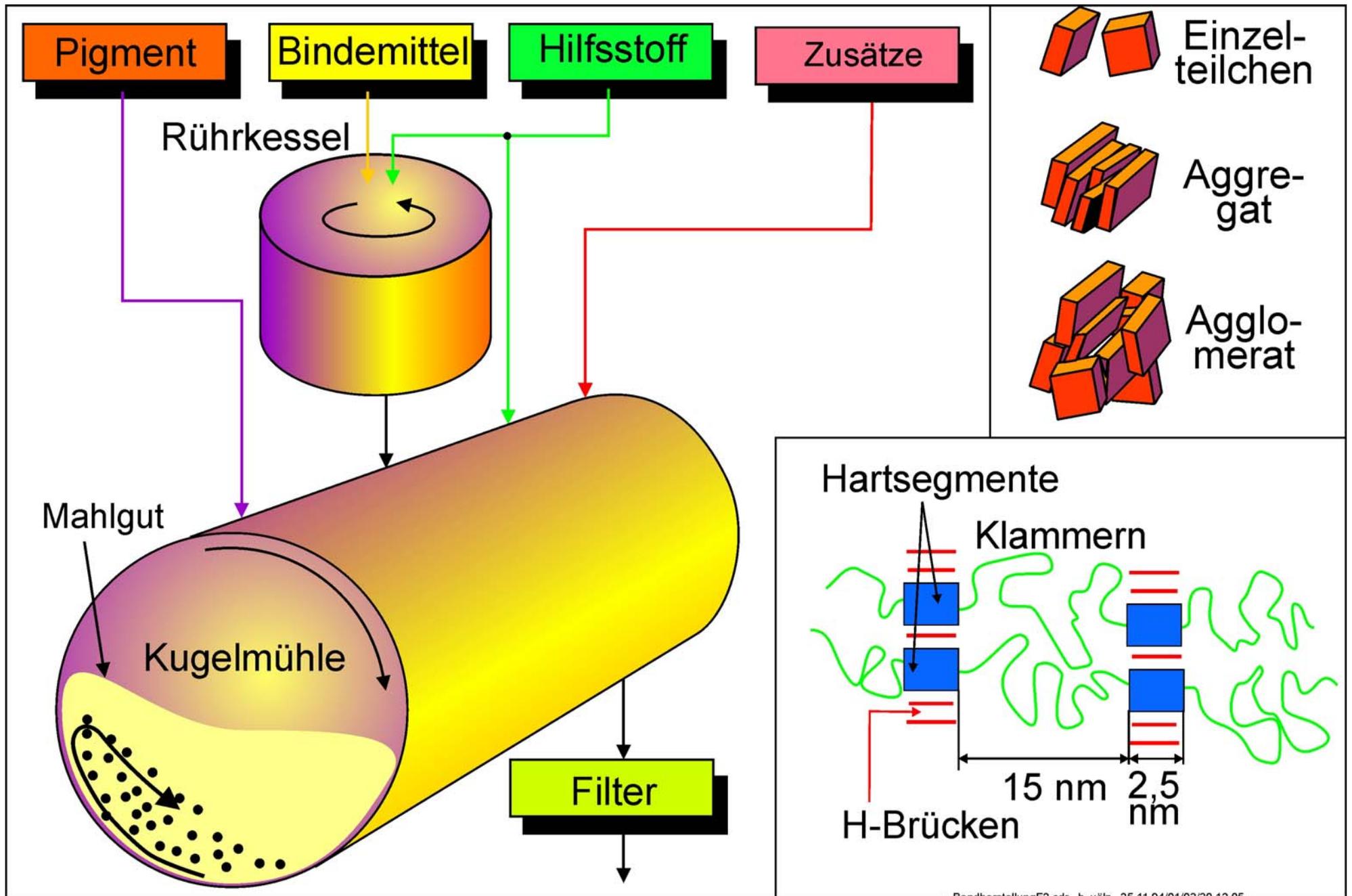
Dieser Mahlprozess ist laut, sehr energie-aufwändig und kann weit *über 24 Stunden* dauern.

Es werden ständig *Proben zur Kontrolle* entnommen.

Dann muss er über *Filter geführt* werden und sofort zu *Gießmaschinen* gelangen.

Generell werden auch *alle folgenden Prozesse fortlaufend überwacht*.

Schließlich entsteht das Band im *Chargenprozess*.



Der Beguss

Hier dient die etwa 1 m breite Folie als Unterlage.

In der vollen Breite ist der *Begießer in etwa 10 µm ganz gleichmäßig* ausgerichtet.

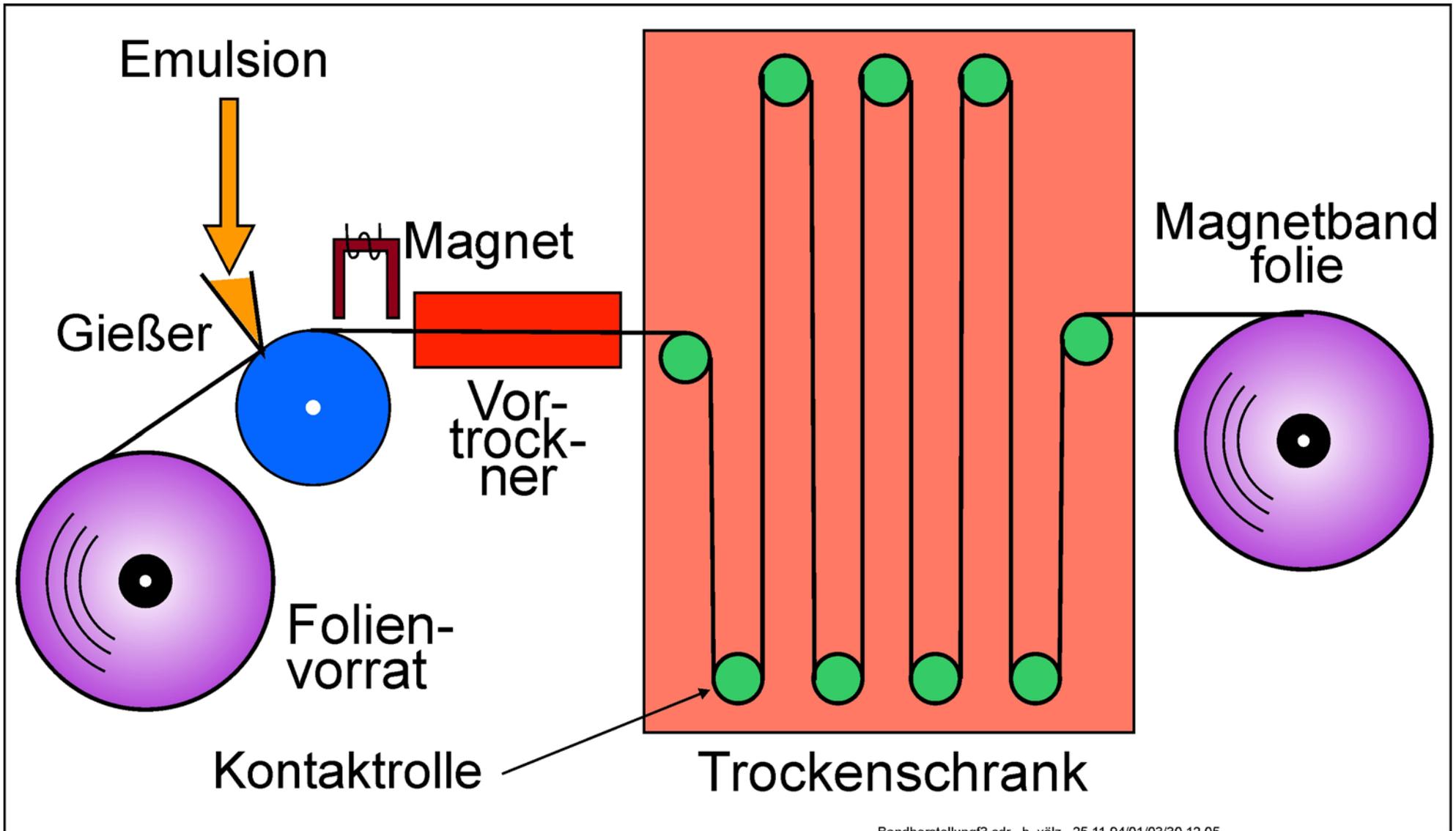
Hinter ihm ist Emulsion noch gut flüssig und „global“ werden die Magnetit-Teilchen *magnetisch ausgerichtet*.

Dann folgt eine erste *Vortrocknung*. Erst danach gelangt das Band in den *Trockenschrank* von etwa zehn Meter Länge.

Dabei läuft es über viele Rollen, so daß sich reichlich hundert Meter im Trockenschrank bewegen.

Am Ende wird *außerhalb das Band aufgewickelt*, ca. 1 km mit 1 m Breite.

Zum Teil erfolgen noch Nachbehandlungen, wie Schutzschichten, Leitschichten, Bedrucken usw.



Die Nachbearbeitung

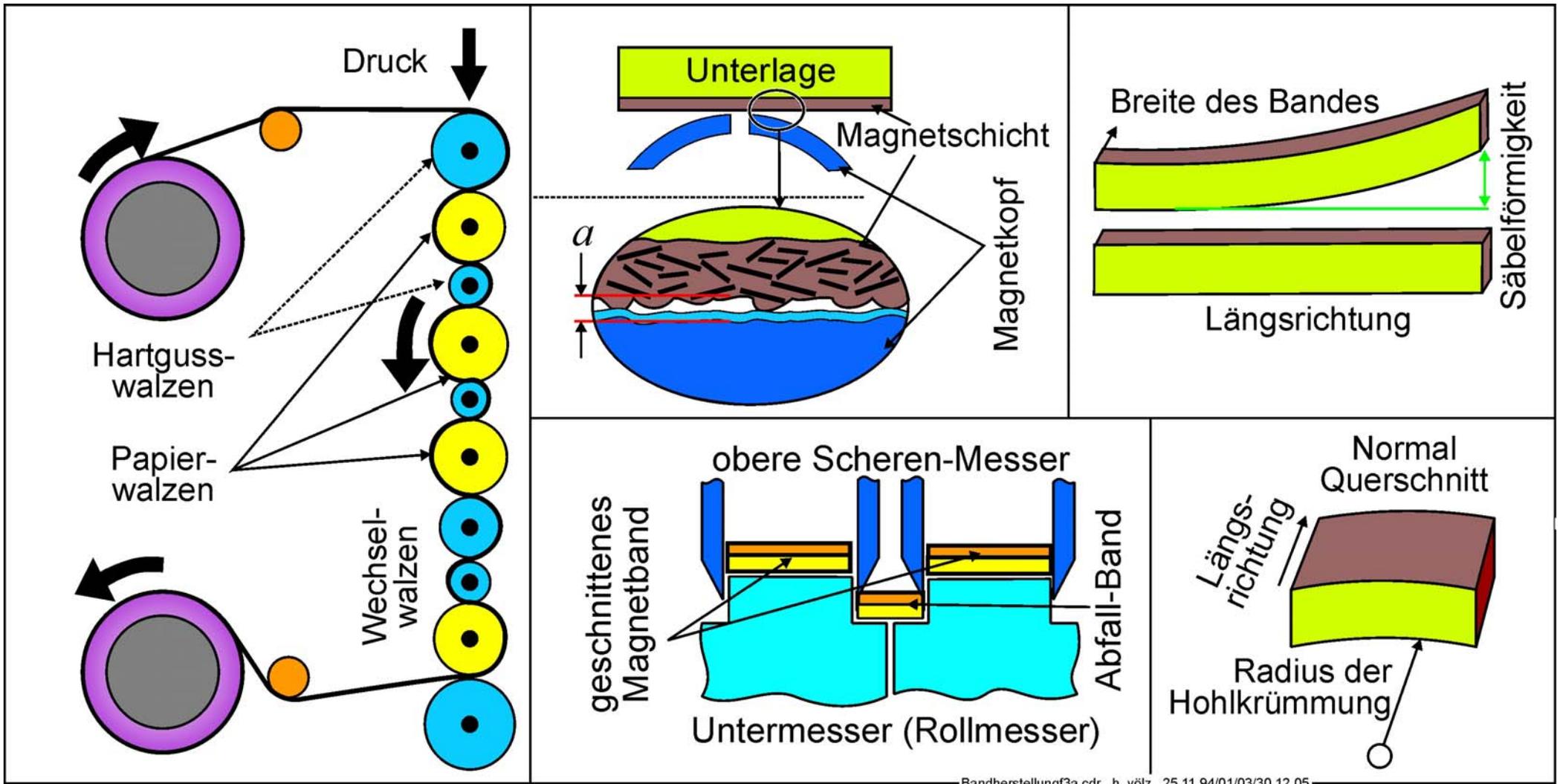
Die Oberfläche des so hergestellten Bandes ist noch *ziemlich rau*.
Deshalb wird sie mit *Kalandern* geglättet.

Danach wird das Band mit sehr scharfen *rotierenden Messern* auf die erforderliche Breite geschnitten.
Um möglichst glatte Schnittkanten zu erhalten, wird stets ein *schmaler Streifen* herausgeschnitten.
Dennoch kann das Band eventuell Verformungen annehmen, die es unbrauchbar machen.

Es gibt zusätzlich zu möglichen Fehlgüssen *erheblichen Abfall*, der umweltgerecht entsorgt werden muss.

Nach alledem muss das Band dann noch *konfektioniert* werden.

Infolge des Chargenprozesses wählt mehrere Bandfabriken eine Charge aus, die über Jahre oder gar Jahrzehnt als *Bezugscharge* zu Messungen und internationalen Abstimmungen dient.



Bandherstellung3a.cdr h. vözl 25.11.94/01/03/30.12.05

Metalldünnenschichtband

Ab etwa 1960 wurde von mir in Zusammenarbeit mit dem

Institut von Manfred v. Ardenne und der Filmfabrik Wolfen das Metalldünnenschichtband entwickelt
Erster internationaler Vortag 1966 (s. Ende)

Von 1971 bis 1988 wurden von der Akademie der Wissenschaften der DDR drei Varianten in mehreren russischen
Interkosmos- und Meteor-Satelliten erfolgreich mit Metalldünnenschichtband genutzt.

Hierbei kam immer ein Endloswickel zum Einsatz.

Der R1 wurde in etwa 70 Stück ab 1971 gefertigt.

Der Speicher war etwa 25 cm lang und enthielt 60 m $\frac{1}{4}$ Zoll-Band.

Alle Speicher liefen einwandfrei bis zum Ende des jeweiligen Satelliten-Einsatzes.

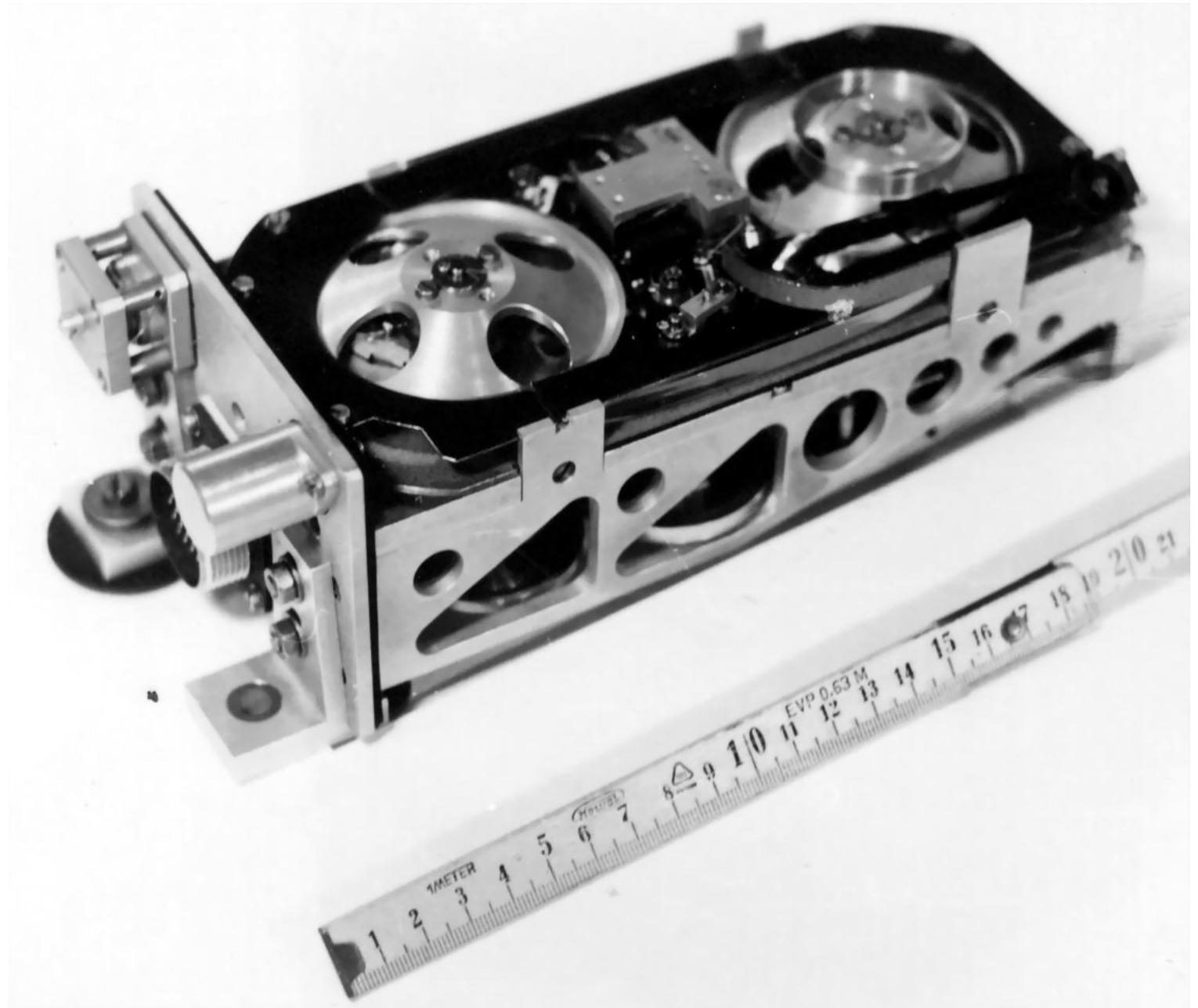
International begannen Forschungen zum vakuumaufgedampften Metallschichtband erst 1976 bei Matsushita.

Hierbei wurden zunächst Vakuumaufdampfanlagen von Ardenne eingesetzt.

Erst ab ca. 1995 wird ein entsprechendes Band bei Videorecordern vom Typ VCR kommerziell genutzt.

Einer unserer ersten Kosmos-Speicher R1 mit Metalldünnschichtband von 1971.

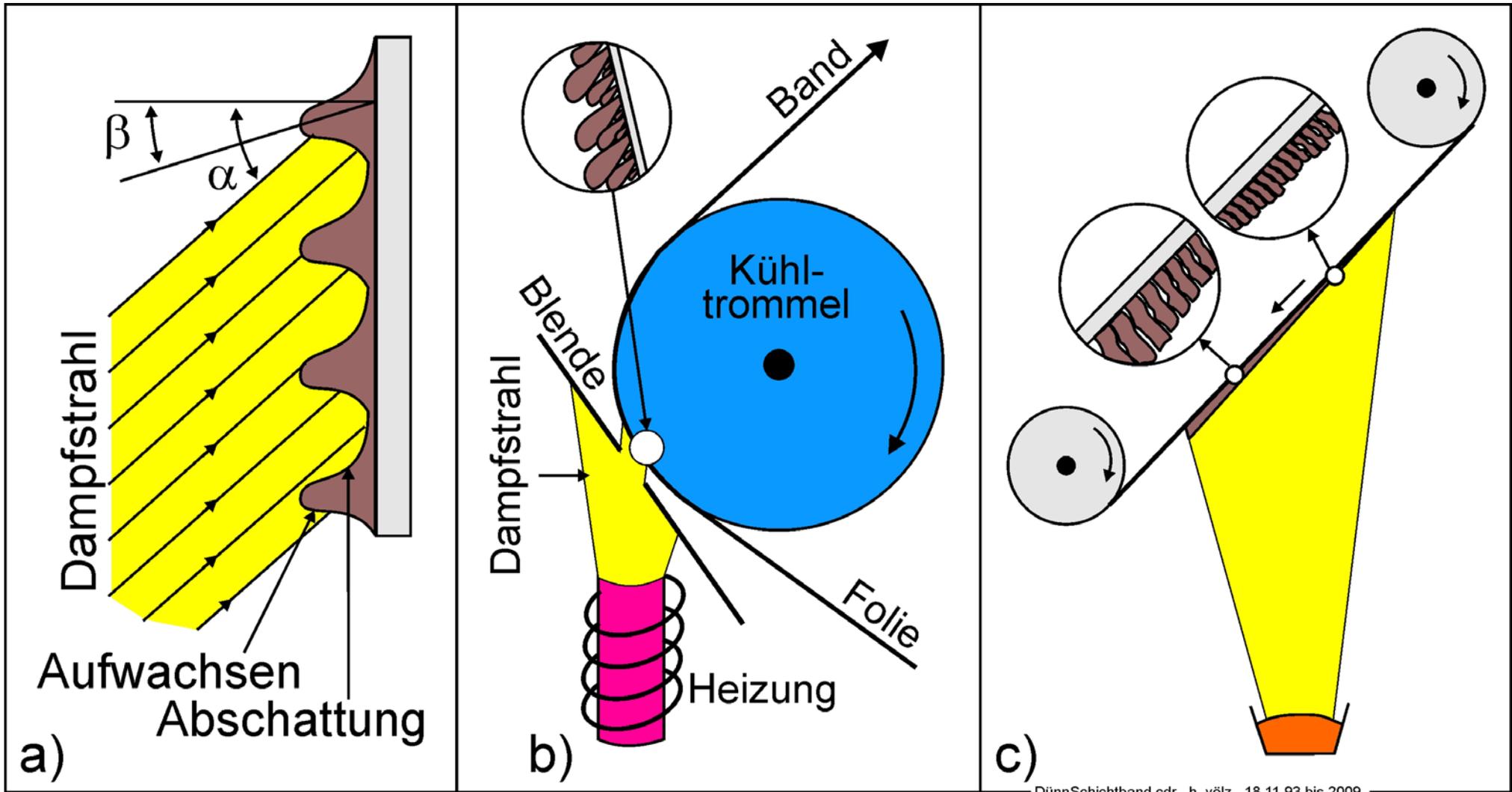
Hiervon wurden etwa 70 Geräte von uns hergestellt und keiner versagte den Dienst während des gesamten Satelliteneinsatzes.



Die Aufdampftechnik

Das größte Problem war zunächst eine hinreichend große Koerzitivfeldstärke.
Hierbei entstand das schräge Aufdampfe, Dabei erfolgt eine Abschattung.
Sie bewirkte, dass lange Zäpfen entstanden.
Leider waren sie bei unserer Technologie längs des Bandes ausgerichtet.
Dadurch besaß das Band in beiden Laufrichtungen unterschiedliche Eigenschaften.
Wir konnten bei unseren Anwendungen immer jene mit den besseren Eigenschaften nutzen.

Die Lösung hierfür fanden sehr viel später die Japaner
Hierzu war aber eine neue Art der Kühlung erforderlich.



Gliederung

1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
6. Das Magnetband
7. Das Transportwerk
8. Die HF-Vormagnetisierung
9. Nach dem Krieg
10. Breitenanwendung
11. Heimton- und Diktiertechnik

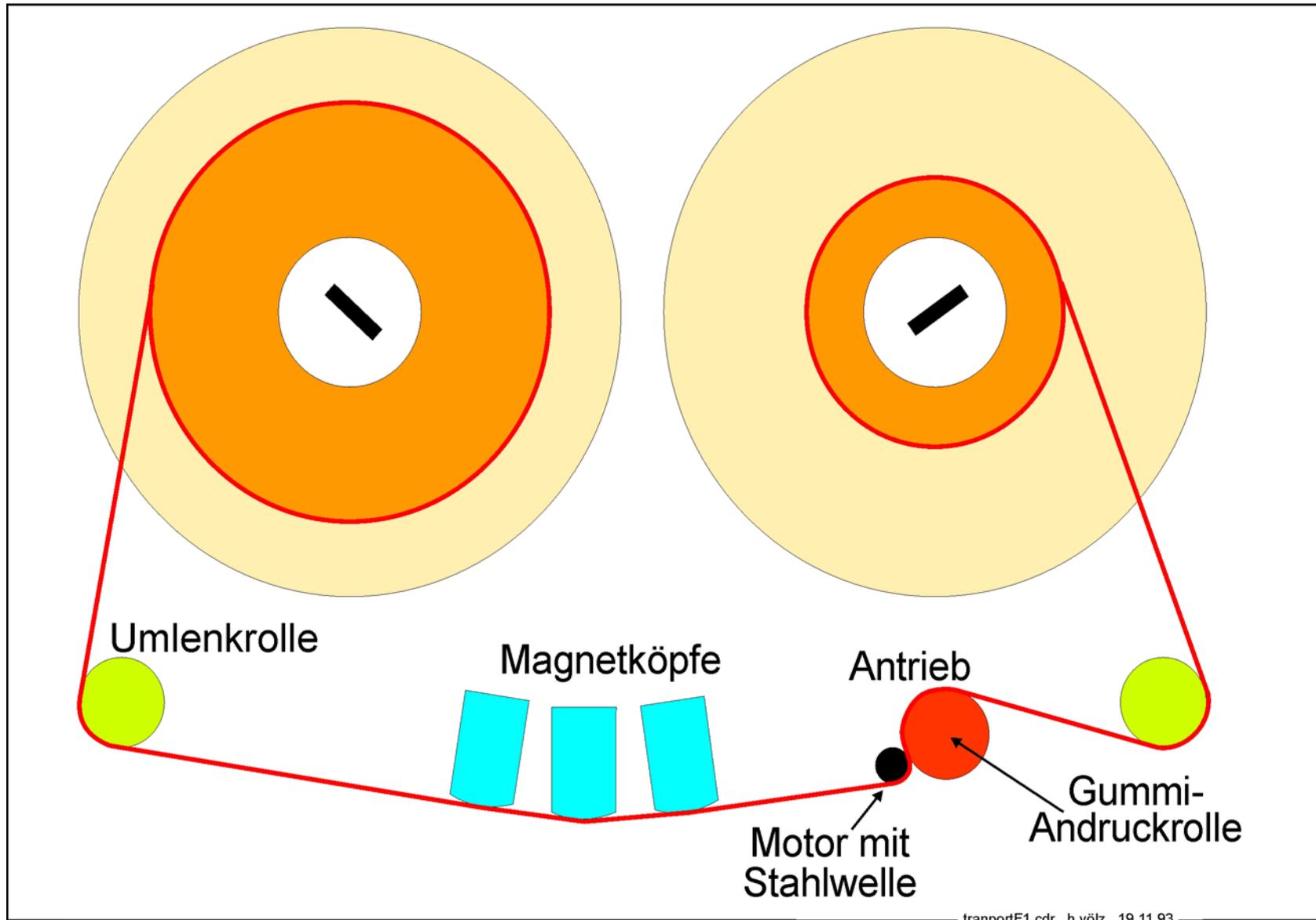
Das Laufwerk

Die Entwicklungen von Magnetband (1927) und der Ringkopf (1932) forderten für die Praxis noch ein drittes Teil. Es wurde 1935 bei AEG und Telefunken von Theo Volk (*~1890) als **3-Motoren Transportwerk** geschaffen. Der **erste Motor** ist unter dem Abwickelteller angebracht der den Bandwickel trägt. Er bremst im Normalbetrieb so die Abwicklung, dass der notwendige Bandzug entsteht. Außerdem wird er zum Rückwickeln des Bandes genutzt. Dann geht der Bandlauf über eine Umlenkrolle an den Magnetköpfen für Löschen, Aufzeichnen und Wiedergeben vorbei. Der **eigentliche Antrieb** erfolgt durch den zweiten Motor, einen **Synchronmotor**. Er treibt den stählernen, hochpolierten, unmagnetischen „**Capstan**“ an (englisch: Ankerwinde, Rollenantrieb, Tonwelle) Gegen ihn wird das Band durch eine gummibelegte Andruck-Rolle gedrückt (Frikitionsantrieb). So wird das Magnetband stets mit gut gleich bleibender Geschwindigkeit fortbewegt. Der **dritte Motor** befindet sich unter dem rechten Wickelteller, der Band möglich exakt aufwickelt. Außerdem ermöglicht er einen schnelle Bandvorlauf.

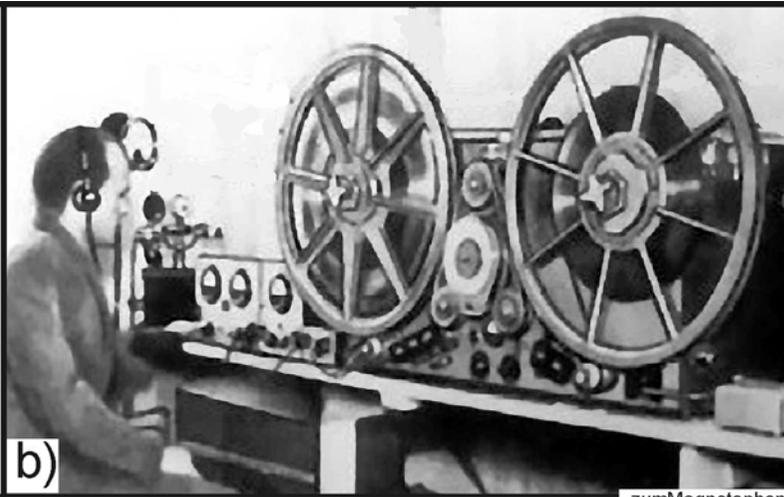
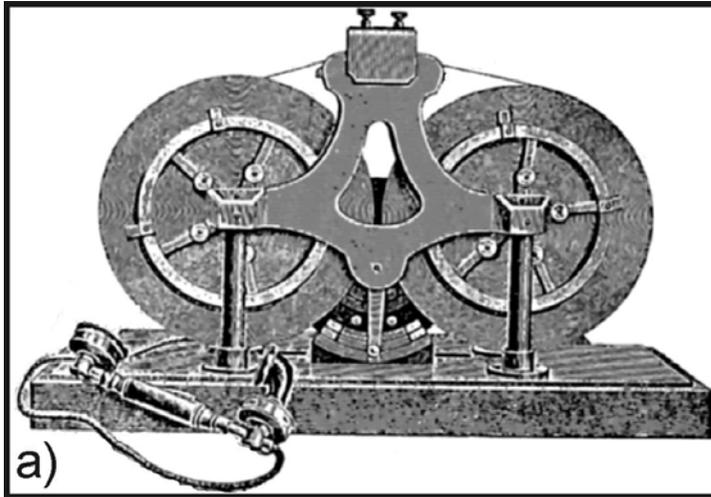
Das erste Gerät dieser Technik ist das „Magnetophon K1“.
Es wurde auf der **Berliner Funkausstellung 1935** öffentlich vorgeführt.
Dazu gehörten der Röhrenverstärker und der Lautsprecher.
Die Masse betrug nahezu 50 kg.
Der Frequenzbereich reichte von 50 bis 10 000 Hz.
Die Spule mit 1 km Band hatte einen Durchmesser von 30 cm
Die Laufzeit betrug ca. 20 Minuten bei 72 cm/s.

Zum Erstaunen vieler, waren die Bandwickel freitragend auf einen Bobby gewickelt.





Zum Vergleich: Poulsen, BBC-Technik und K1



zumMagnetophon.jpg h . vözl 17.1.06

Gliederung

1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
6. Das Magnetband
7. Das Transportwerk
- 8. Die HF-Vormagnetisierung**
9. Nach dem Krieg
10. Breitenanwendung
11. Heimton- und Diktiertechnik

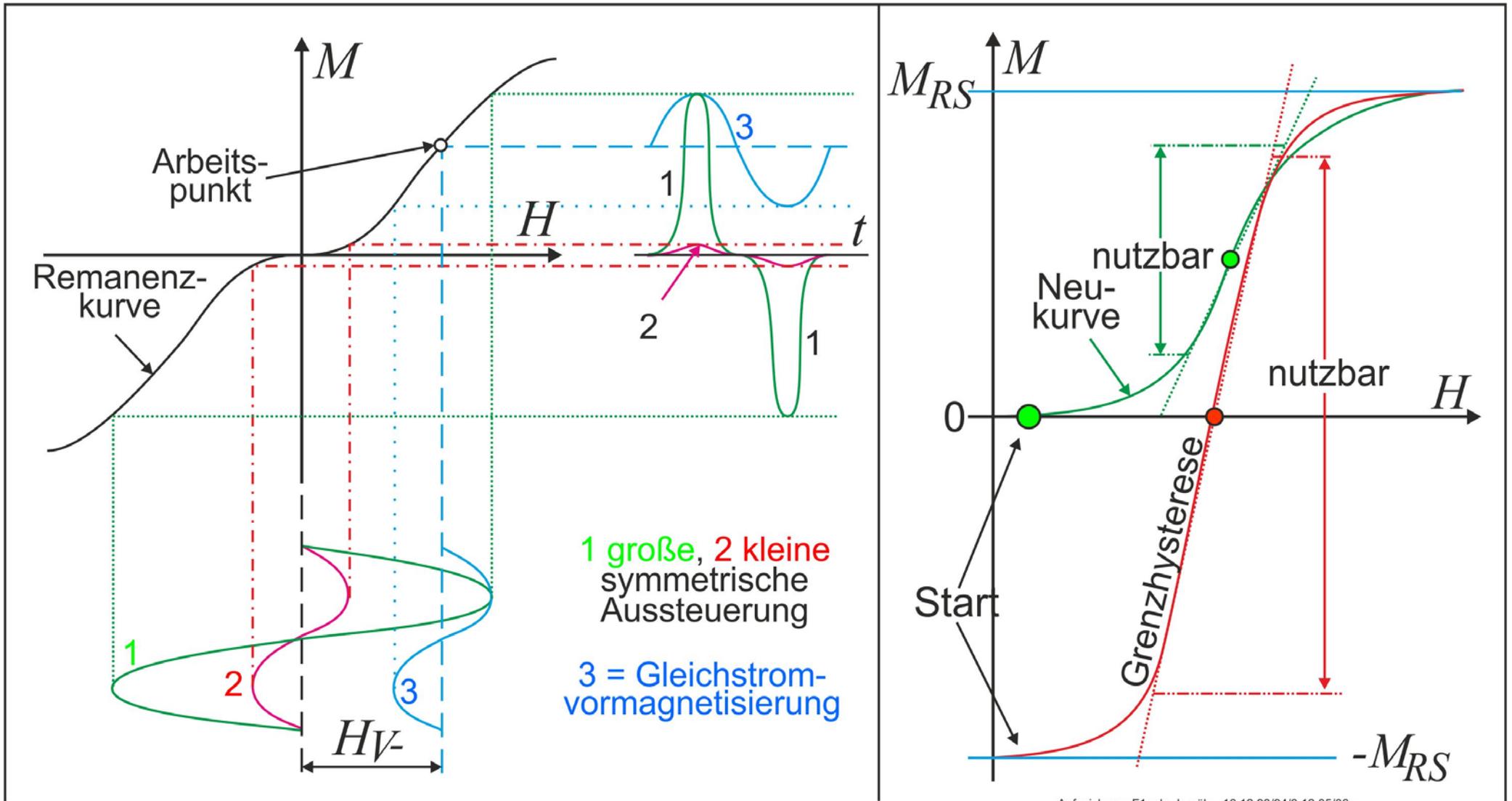
Aufzeichnungsprozesse

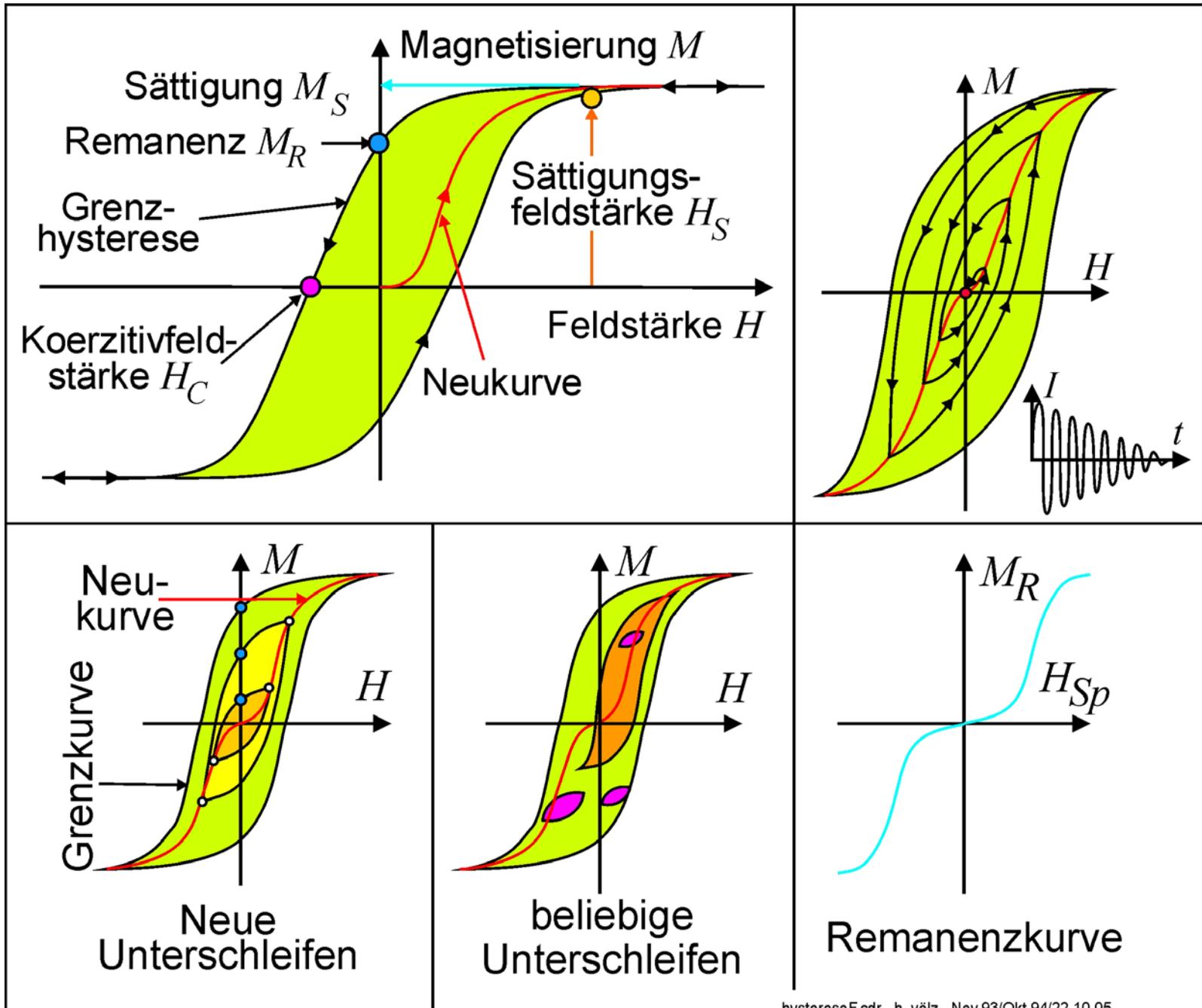
Bei POULSEN erfolgten die ersten Aufzeichnungen mit der *Remanenz-Kennlinie* (Bild links).
Für kleine Signale (2) tritt daher nur eine geringe, fast vernachlässigbare Magnetisierung auf.
Für große Signale (1) entstehen zwar große Magnetisierungen. Sie besitzen jedoch eine starke Nichtlinearität.
Diese Eigenart wird heute nur bei FM- und digitaler Aufzeichnung benutzt.

Durch die Wahl spezieller Arbeitspunkte erreichte bereits POULSEN ab 1907 bessere Qualität.
Durch *Entmagnetisierung* (Wechselfeld) und folgende *Gleich-Vormagnetisierung* wird gute Linearität erreicht (grün).

Ein zweites Verfahren benutzt zunächst *Sättigung* und dann *Gleichfeld-Entmagnetisierung* (rot)
Theoretisch sollte hier das *Rauschen* verschwinden, denn der Arbeitspunkt liegt bei der Remanenz Null.
Jedoch wird er infolge schwankender *Koerzitivfeldstärke* nur mehr oder weniger zufällig eingenommen.
So wurde dieses Verfahren trotz *dreimal höherer Signale* nur selten benutzt.

Beide Verfahren haben den großen Nachteil, dass *viel Rauschen* durch die ungleichmäßige *Partikelverteilung* auftritt.
Bei kompakten Schichten erfolgt Rauschen durch unterschiedliche *Schichtdicke* oder schwankende *Koerzitivfeldstärken*.
So erreichte (bis 1940) die magnetische Aufzeichnung immer *weniger Qualität als die Schallplatte und der Filmton*.





Vorgeschichte der HF-Vormagnetisierung

Zur Entstehung der HF-Vormagnetisierung gibt es viele Legenden und Fakten.

Von 1921 und 1932 gibt es 2 Patente, die zusätzlich eine höhere Frequenz zur Verbesserung der magnetischen Aufzeichnung empfehlen.

1939 MARVIN CAMRAS (1916 – 1995) soll die HF-Vormagnetisierung, jedoch ohne jegliche Nutzung, entdeckt haben. Etwa 1940 erschien eine japanische Patentanmeldung ähnlichen Inhalts.

Offensichtlich hatten diese Aussagen aber keinen Einfluss auf die technische Weiterentwicklung.

1940 wurde sie von HANS-JOACHIM VON BRAUNMÜHL (1900 - 1980) und WALTER WEBER (1907 - 1944) zufällig gefunden.

Beide versuchten damals längere Zeit, das Bandrauschen durch *Gegenkopplung* zu kompensieren.

Infolge eines Phasenfehlers geriet dabei ihr System in *Selbsterregung* (HF-Schwingung).

Unvermittelt trat dabei eine *praktisch rausch- und verzerrungsfreie* Aufzeichnung mit großer Signalamplitude auf. Sie mussten erst die Ursache mühsam *ergründen*.

Bis heute gibt es keine brauchbare Theorie für diese Erscheinung.

Die nur anschauliche und erst nachträglich entstandene Erklärung stammt immer noch von CAMRAS.

1943 wurden vom Heinrich-Hertz-Institut Berlin erste hochwertige und historisch wertvolle *Stereoaufnahmen* realisiert.

Die CAMRAS-Beschreibung

Dem aufzuzeichnenden Signal (NF) wird additiv von einer höheren Frequenz (HF) überlagert.

Daher die Bezeichnung **Hochfrequenzvormagnetisierung** bzw. *HF-Verfahren*.

Die HF muss mindestens **dreimal so hoch** wie die höchste Frequenz der NF-Schwingung sein.

Anderenfalls können sich an den **Nichtlinearitäten** der Kennlinien störende **Mischfrequenzen** ausbilden.

Ihre **Amplitude** muss etwa $\frac{1}{3}$ der maximalen Signalamplitude (für Remanenzwert $M_{R,max}$) betragen.

Die Beschreibung wird besonders anschaulich, wenn die HF-Schwingung **rechteckförmig** angenommen wird.

Dadurch entstehen **zwei** um die HF-Amplitude verschobene **Remanenzkennlinien** (blau, rot).

Sie werden quasi mit der **HF getaktet für das NF-Signal** wirksam.

Infolge der Entmagnetisierung der hohen Frequenzen wird die HF kaum aufgezeichnet.

Der Rest verschwindet infolge von Kopfverlusten und der starken Dämpfung hoher Frequenzen bei der Wiedergabe.

Als Mittelwert entsteht dann die gut **lineare (grüne) Kennlinie**.

Für optimale Bedingungen ist die HF-Amplitude entscheidend (Bild d).

Es gibt meist ein **Maximum** für die größtmögliche **Signalamplitude** U_{max} .

Dieser Wert hat **relativ wenig** mit dem maximalen Pegel des **Nutz-Signals zu tun**.

Die **nutzbare „Vollaussteuerung“** ist in einem relativ **weiten Bereich** des Vormagnetisierungsstromes etwa gleich groß.

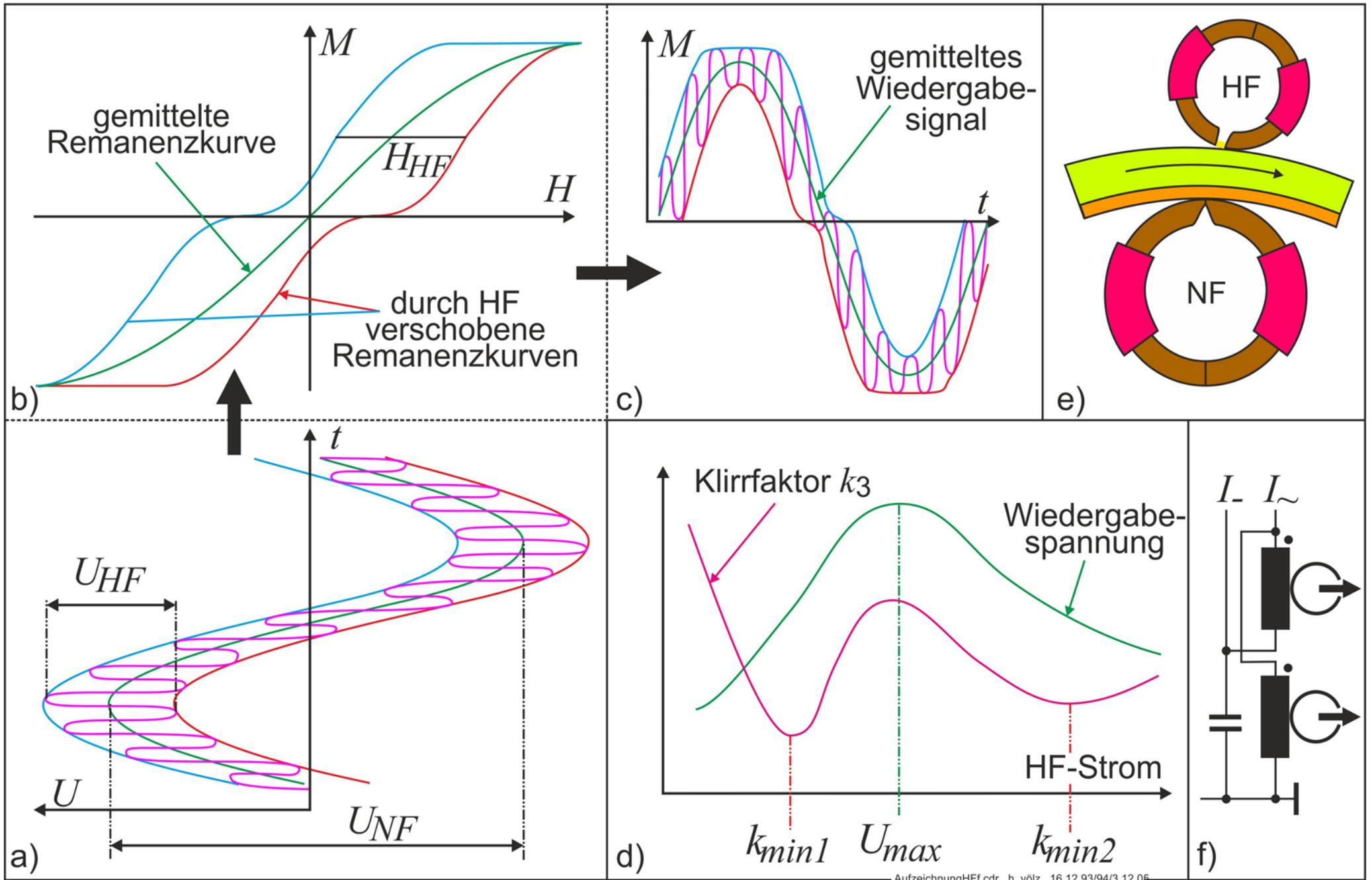
Geändert wird nur das NF-Übertragungsmaß.

Wichtiger ist das Verhältnis aus Sinusamplitude U_1 zur entstehenden Schwingung mit dreifacher Frequenz U_3

Dieser **Klirrfaktor** $k_3=U_3/U_1$ ist bei U_{max} relativ groß.

Für einen möglichst kleinen Wert existieren zwei andere HF-Amplituden.

In der Praxis wird meist die des zweiten Minimums k_{min2} benutzt. Hier ist die Einstellung weniger kritisch.



Einige Ergänzungen

Für eine rauschfreie Aufzeichnung darf die *HF-Schwingung keine Unsymmetrie* (geradzahlige Oberwellen) besitzen. Andernfalls bewirkt die *nichtlineare Remanenzkennlinie* zusätzlich eine *Gleichstromkomponente* = Rauschen. Deshalb werden vielfach symmetrische *Gegentaktoszillatoren* zur Schwingungserzeugung eingesetzt.

Insgesamt bietet damit die HF-Vormagnetisierung gegenüber den anderen Verfahren gleich drei Vorteile:

- Sehr *gut lineare* Arbeitskennlinie
- Ausnutzung des nahezu *ganzen Remanenzbereiches* von positiver bis negativer Sättigung
- extrem geringen *Rauschpegel*.

Indirekt habe ich *experimentell* untersucht, wieweit das CAMRAS-Modell gültig ist.

Die Spuren eines *Stereo-Kopfes* wurden gleichphasig mit NF und gegenphasig mit Gleichstrom betrieben.

Jede Spur bildete so eine *verschobene Remanenzkurve* nach. Die Wiedergabe erfolgte mit einem *Vollspurkopf*.

Dabei ergab sich eine Kennlinien, die nahezu identisch mit der HF-Vormagnetisierung ist.

Natürlich trat aber starkes Gleichfeldrauschen auf.

In einigen Geräten gab es für die HF-Vormagnetisierung auch Realisierungen mit zwei Köpfen.

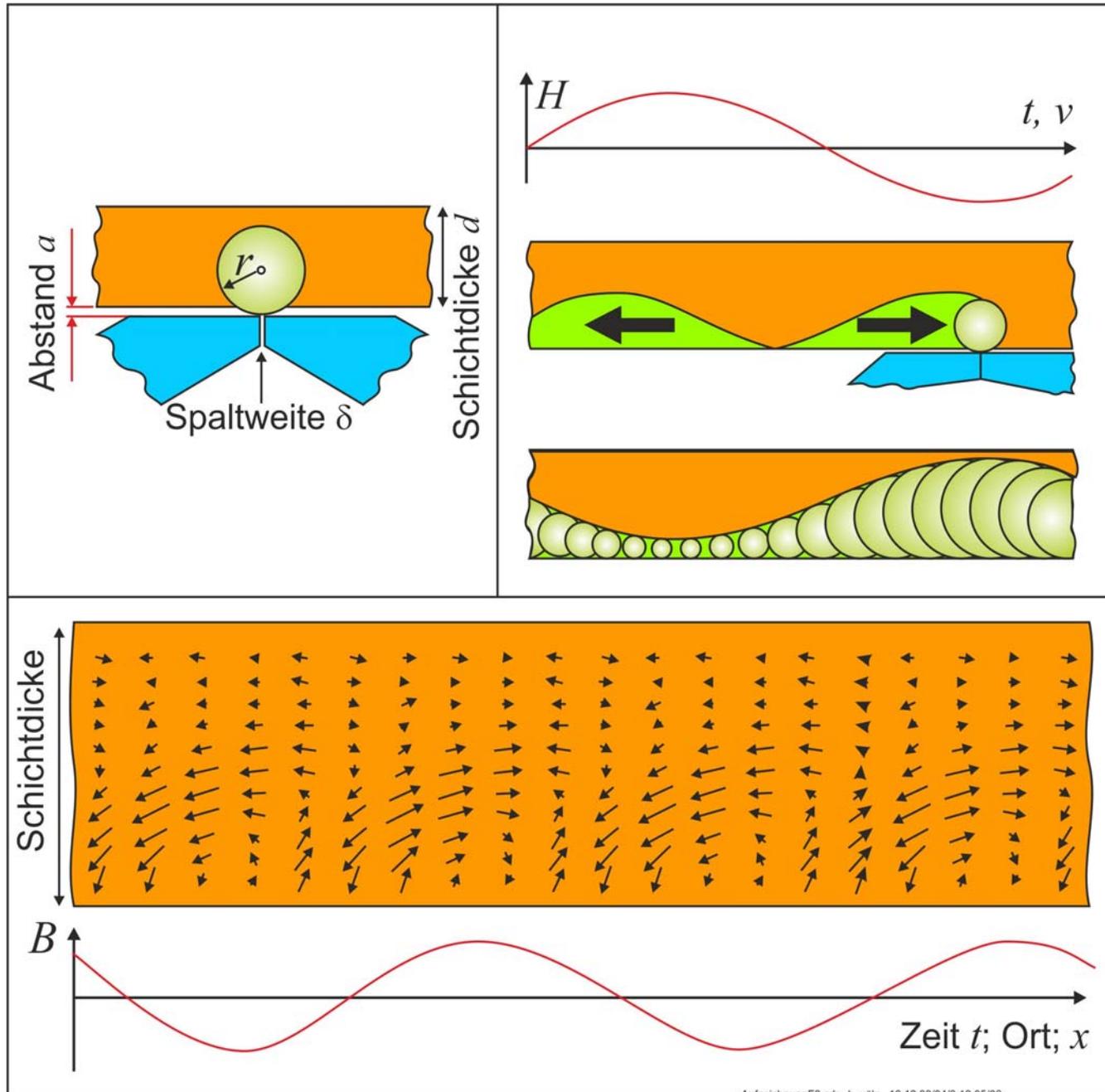
Sie hatten den Vorteil, dass der Kopf für die NF-Signale nur für Frequenz bis etwa 20 kHz beherrschen muss.

Der HF-Kopf kann einen breiteren Spalt erhalten und sein Material braucht nur die HF zu bewältigen.

Weitere Theorien und Experimente

Die HF-Vormagnetisierung kann auch mit den Modellen von BAUER und MEE bzw. STEIN beschrieben werden. Dabei wird die Hysterese-Beschreibung mit immer kleiner werdenden Amplituden wiederholt. Trotz der deutlich größeren Komplexität ergeben sich jedoch keine tieferen Einsichten in diese Betriebsweise. Deshalb erlangte dieses Modell keine Bedeutung.

Die Dicke der magnetischen Schicht macht es schwierig die Magnetvektoren in der Magnetschicht zu erfassen. Deshalb bauten 1963 D. L. A. TJADEN und J. LEYTEN bei Philips ein 5000fach vergrößertes Modell. Eine Diplomarbeit die von BASF finanziert wurde. Das sowohl den Magnetkopf wie das Band betraf. Die Spaltweite des Aufzeichnungskopfes betrug 20 mm, die Schichtdicke des Magnetbandes 50 mm. Nach einer Aufzeichnung zerschnitten sie das „Magnetband“ in kleine Blöcke und bestimmten deren Magnetisierung. Die Länge und Richtung der Pfeile im Bild kennzeichnen die remanente Magnetisierung der Proben. Insgesamt sind annähernd kreisförmige Magnetisierungen gut zu erkennen. Sie wurden kurz zuvor mittels eines theoretischen Aufzeichnungsmodells von C. D. MEE und B. B. BAUER vorausgesagt.



AufzeichnungF2.cdr h. völz 16.12.93/94/3.12.05/06

Gliederung

1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
6. Das Magnetband
7. Das Transportwerk
8. Die HF-Vormagnetisierung
9. Nach dem Krieg
10. Breitenanwendung
11. Heimton- und Diktiertechnik

Der typische Frequenzgang

Besteht aus mehreren Anteilen

- ω -Gang infolge des induktiven Magnetkopfes, kann durch flussempfindlichen Kopf vermieden werden
- Bandflussdämpfung infolge Längen-Breiten-Verhältnis der einzelnen gespeicherten Signale $\exp(\lambda/\lambda_1)$
- Spaltfunktion $S_i(x)$ s. Filmtone
- Spalttiefstellung die $S_i(x)$
- Spiegeleinfluss durch Kontaktlänge Band-Kopf und deren Grenzübergänge.

Alles zusammen gibt ein Unterschied in der Signalgröße von grob 1:100

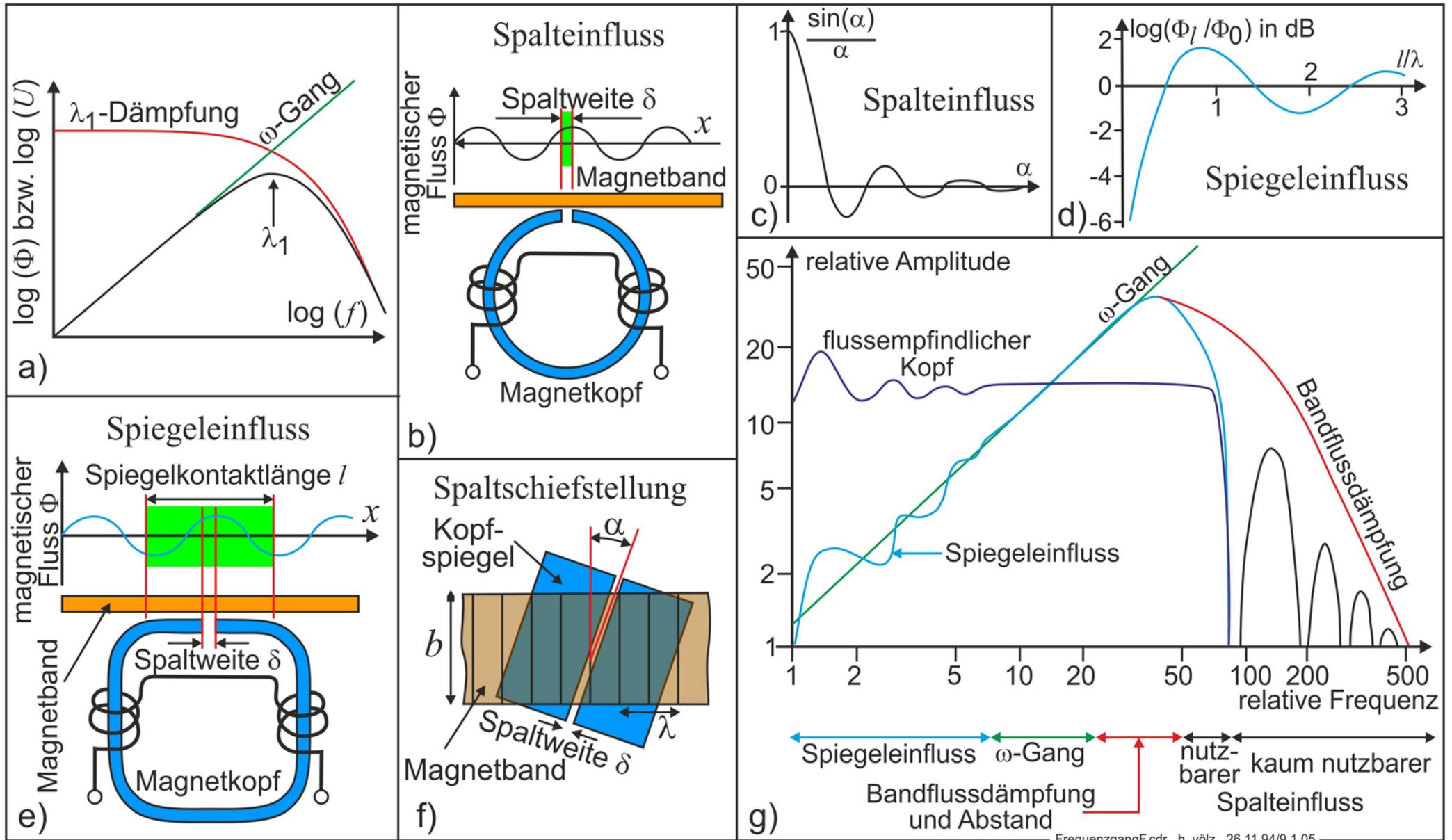
Er muss mit komplizierten Schaltungen korrigiert werden.

Bei Messungen sind schwer zu trennen, Aufzeichnung, Bandfluss und Wiedergabe.

Aufnahme und Wiedergabe mit mehreren Geschwindigkeiten dazu nötig.

Genormt ist daher der Frequenzgang des Bandflusses.

Dafür werden Normbänder bereitgestellt.



FrequenzgangF.cdr h. vözl 26.11.94/9.1.05

Kopiereffekt

Er tritt auf, weil sich die Bandlagen auf dem Wickel beeinflussen

Er hängt damit von der Banddicke und der Wellenlänge ab.

Wirkt sich daher auch unterschiedlich bei verschiedenen Bandgeschwindigkeiten aus

Er tritt als mehrfaches Vor- und Nachecho auf.

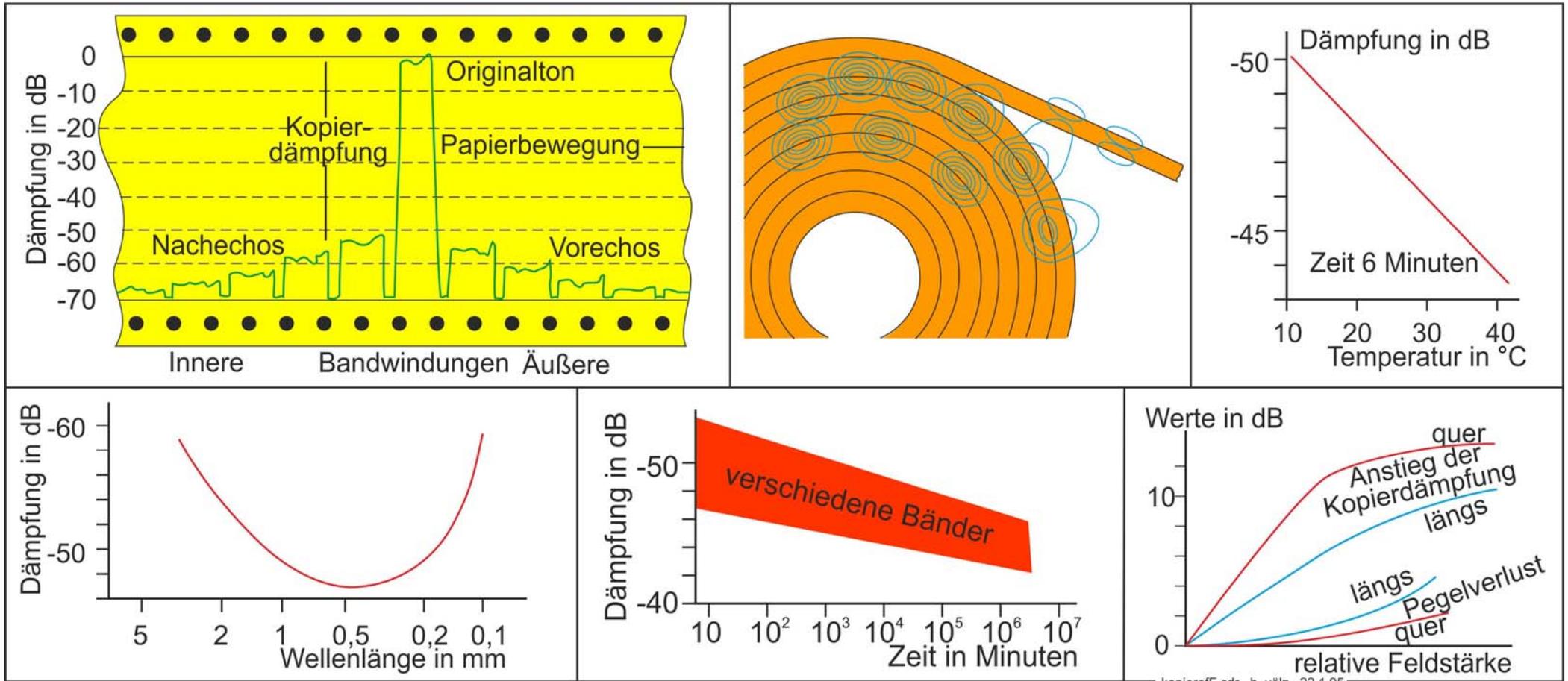
Er geht auf einzelne Magneteilchen mit zu kleiner Koerzitivfeldstärke zurück.

Ist also bandtypisch und wurde mit der Bandentwicklung ständig verringert.

Auch die Lager-Temperatur und Zeit ist von erheblichem Einfluss.

Leider ist kaum bekannt, dass er sich beim Abspielen, insbesondere beim Digitalisieren *weitgehend vermeiden* lässt. dazu gibt es zwei Wege.

- 24 Stunden vorher das Band umwickeln und bei leicht erhöhter Temperatur (30°C) lagern. dann kurz vor dem Wiedergeben zurückspulen.
- Durch eine zusätzliche kleine Quermagnetisierung ist weiteres Reduzieren möglich.



Etwas Geschichte

Er erfolgt hier gemäß der wahrscheinlich vollständig ermittelten Literatur

Karteikarten: Im Bereich Magnetische Signalspeicher gemäß der je Jahr vorhandenen Literaturstellen.

Es wurde vervollständigt durch Angaben aus Referatezeitschriften.

Die Spitze ① betrifft die breite Berichterstattung zu den ersten POULSEN-Geräten.

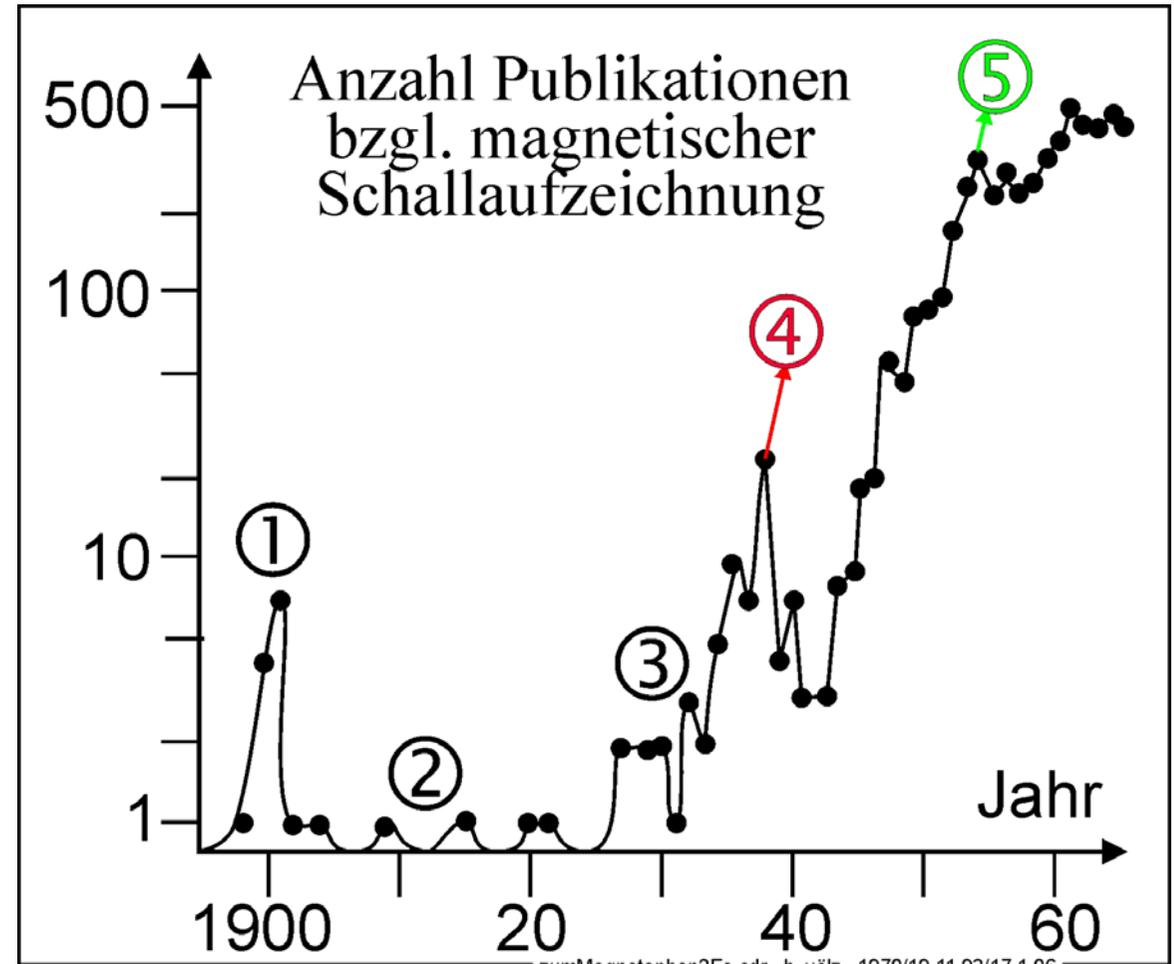
Im flachen Zeitraum ② wird fast nur über Anwendungen in der Diktiertechnik und kleine technische Fortschritte berichtet.

Der Boom ③ betrifft die 1935 vorgestellte neue Technik, insbesondere die „K1“.

Der zu erwartende steile Anstieg ④ tritt durch die Auswirkungen des Krieges nicht auf.

Er beginnt erst etwa zehn Jahre später nach 1945, doch dann fast nur in der englischsprachigen Literatur.

Der fehlende Zweig ⑤ fehlt im Bild, weil nur die kontinuierliche Schallspeicherung erfasst wurde. Weiter sind nicht eingetragen wissenschaftlich-technischen Arbeiten und die sich rasant entwickelnden digitalen Techniken: Rechentechnik und Sondergebiete, wie Magnetfilm.



Das Kriegsende

Die Deutschen Fortschritte wurden durch das Kriegsende schnell allgemein bekannt.

Gleich zu Beginn der amerikanischen Besatzung requirierten JOHN MULLIN und HERBERT ORT etwa 12 K6-Maschinen mit 50 Bändern und verschifften sie in die USA.

Hiermit stießen sie auf großes Interesse der Firma Ampex.

So übernahm die USA die Führung bei den Weiterentwicklungen.

Weil alle deutschen Patente für nichtig erklärt waren gab es dabei große Freiheit.

Die Norm der Bandgeschwindigkeit wurde (international) von 72 cm/s auf das Zollmaß 76,2 cm/s (30 Zoll/s) erhöht.

Die Breite des Bandes schrumpfte von 6,5 mm auf 6,25 mm ($\frac{1}{4}$ Zoll).

International war man entsetzt über die deutschen frei tragenden *Bandwickel*, es wurden Spulen eingeführt.

Das funktioniert natürlich nur in der zuvor unüblichen *waagerechten Lage*.

Es ist ja auch nahezu unverständlich, dass ein derartiger Wickel robust und bei der Handhabung extrem selten zerbricht.

Wem ein Wickel einmal zerfallen ist, der weiß um die aufwendigen Probleme, die Aufnahme dann noch zu retten.

Auch entsteht der Wickel nicht immer exakt: einzelne Windungen hervor, insbesondere durch Start- und Stopp-Vorgänge.

Dadurch können die Bandkanten beschädigt werden: Dann ist u.a. Kopfkontakt und Spurlage nicht mehr exakt.

Deshalb kam international die **NARTB-Spule** (National Association of Radio Television Broadcasters).

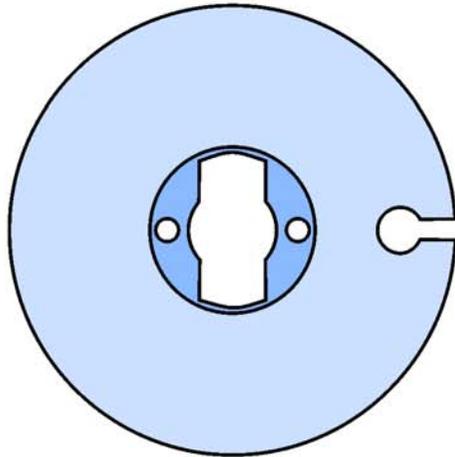
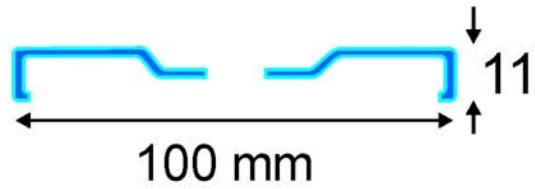
Ursprünglich nur in den USA, später international als NAB. dann auch in der Studio-Video-Technik

Spulen haben aber immer den *Nachteil*, dass sich das *Trägheitsmoment* der Wickel deutlich vergrößert.

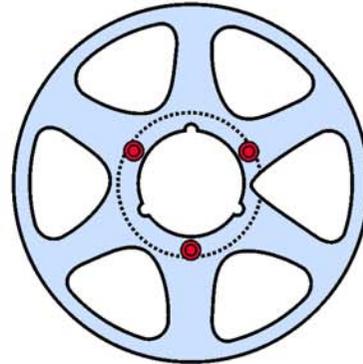
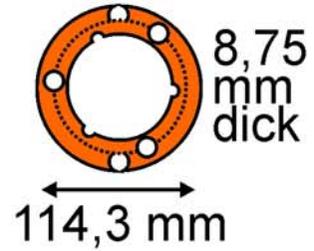
Das bringt Problem beim schnellen Starten und/oder Bremsen. Folge: Spulen meist durchbrochen.

Verkleinert zwar das Trägheitsmoment, verringert aber auch den Schutz des Bandes.

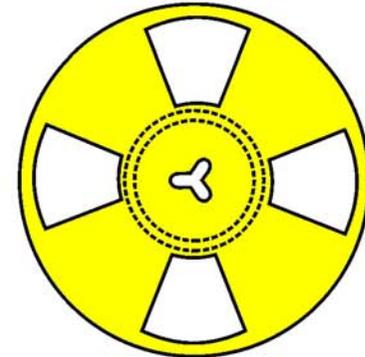
Wickelkern (Bobby)



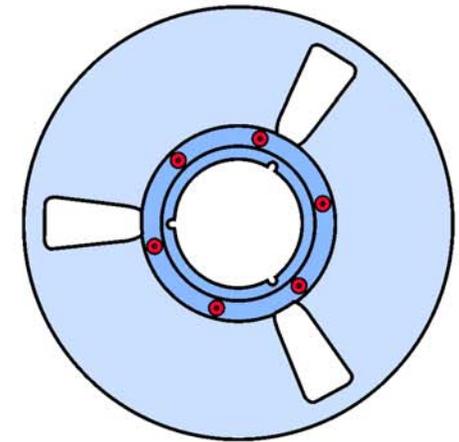
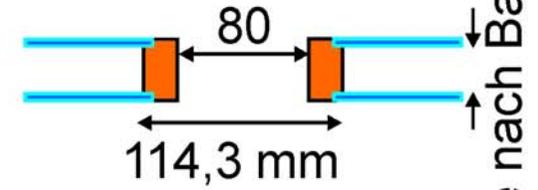
NARTB



Dreizackspule



Digitalband



Außendurchmesser der Spulen und Wickelkörper recht unterschiedlich, max. 400 mm

studiatechnikF2.cdr h. vözl 11.12.93/94/95/17.1.06

Gliederung

1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
6. Das Magnetband
7. Das Transportwerk
8. Die HF-Vormagnetisierung
9. Nach dem Krieg
- 10. Breitenanwendung**
11. Heimton- und Diktiertechnik

Weiterentwicklung der Studiotechnik

Als 1950 der *UKW-Rundfunk* entstand, ergaben sich deutlich höhere Anforderungen. Sie konnten aber ohne Schwierigkeiten mit der weiterentwickelten Magnetbandtechnik erfüllt werden.

Wenige Jahre später gelang ohne Qualitätseinbußen (international) der *Übergang zu 38,1 cm/s*. Die Umstellung hat in den *Schallarchiven* so viele organisatorische *Probleme* gebracht.

Ab 1958 erfolgte im Studio der allgemeine Übergang zur *Stereotechnik*.

Wenig später wären *19,05 cm/s ausreichend* gewesen.

Doch erneute Umstellung der Schallarchive und Probleme bei der *Cuttertechnik* (silben-, notengetreu) sprachen dagegen.

Noch später hätten sogar 9,5 cm/s ausreichende Qualität erbracht.

Bereits 1966 besaß z. B. allein der *Bayerische Rundfunk 160 000* Tonbänder.

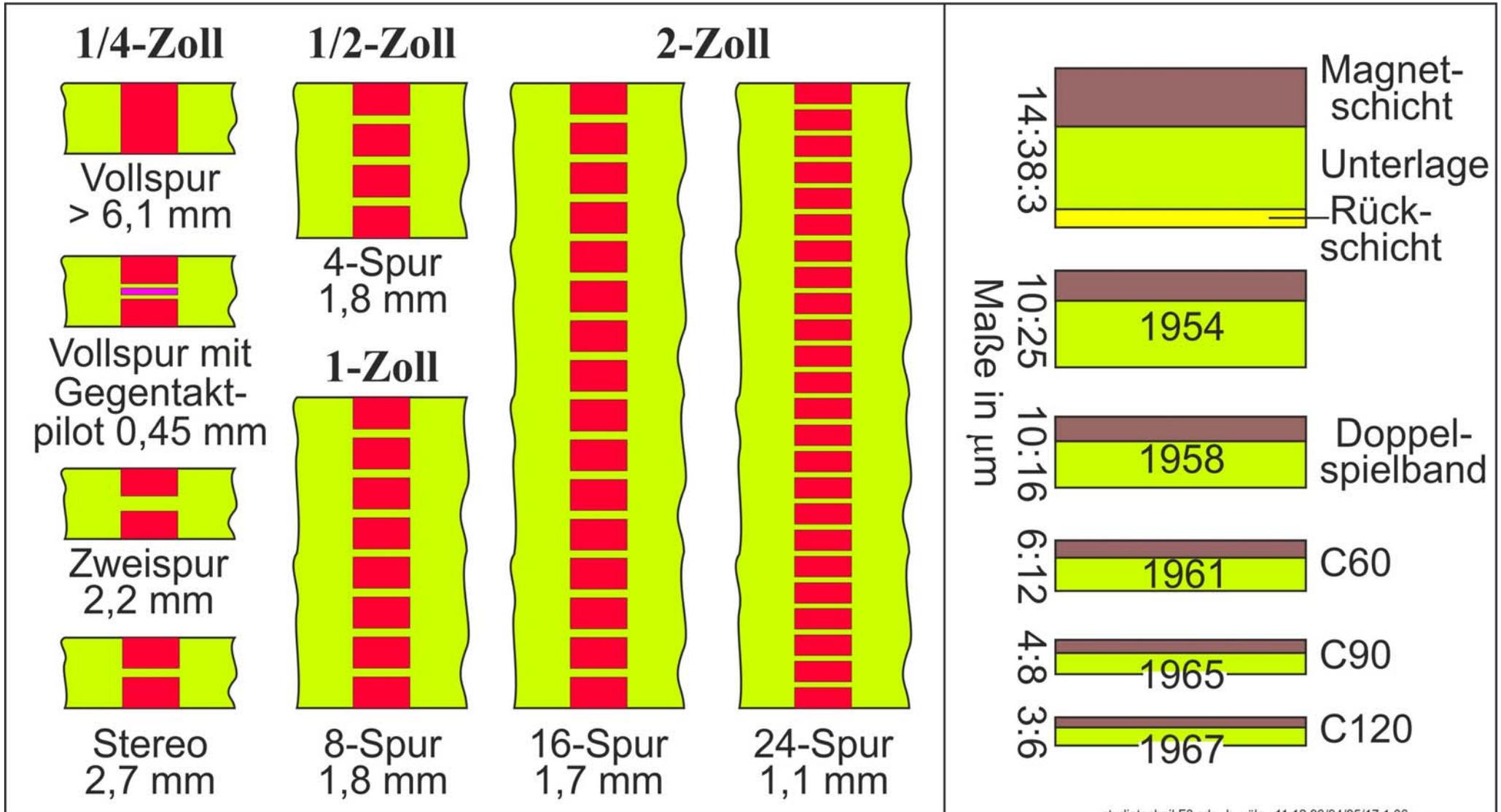
Lediglich einige *japanische Studios*, die noch keine erheblichen Archivbestände besaßen, wagten den Schritt.

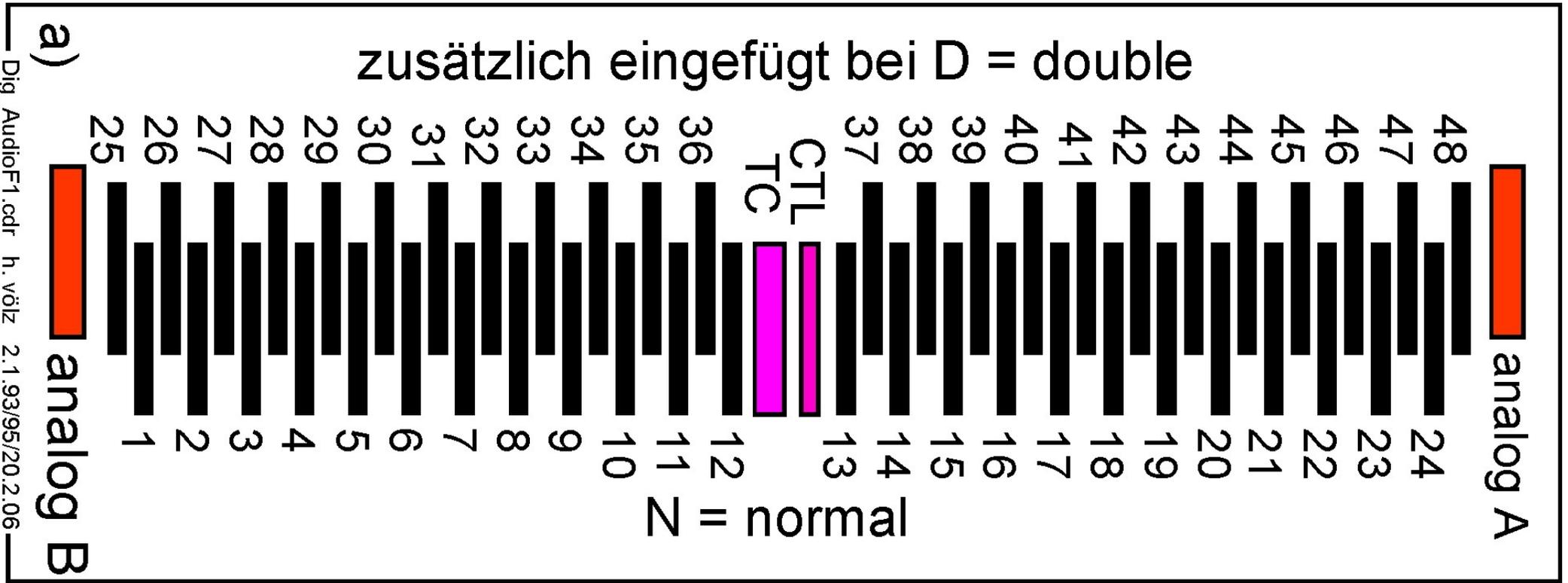
So blieb *international* der Standard *38,1 cm/s* bis zur Einführung der *digitalen Technik Mitte der 80er* Jahre erhalten.

Die *Anzahl der Spuren* nahm ständig zu, Der Höhepunkt wurde bei der Digitaltechnik mit 50 Spuren erreicht!

Dazu gab es auch unterschiedlichen *Breiten* des Bandes bis zu 2 Zoll grob 5 cm.

Die Banddicke nahm bezüglich *Unterlage und Schichtdicke* besonders bei der Heimtechnik (CC s. u.) ab.



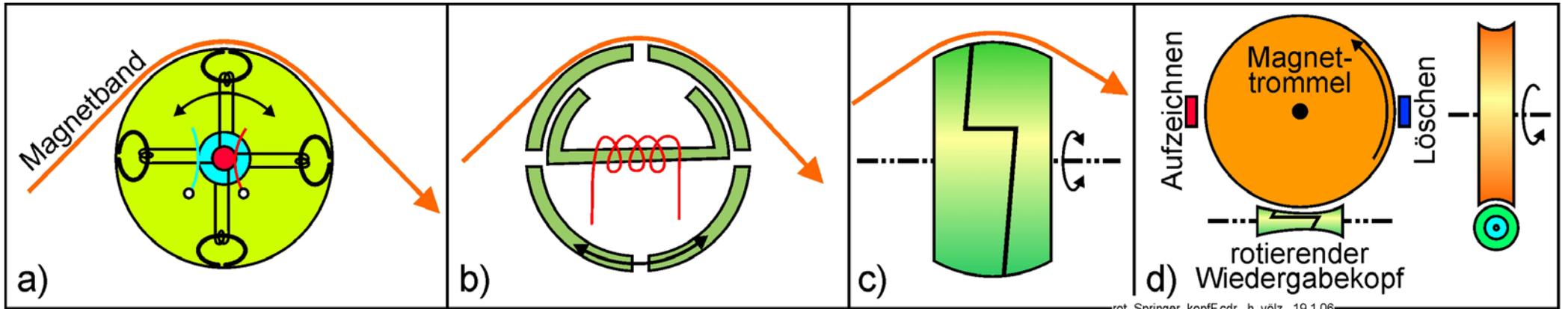


Sondertechniken

Für Sonderanwendungen entstanden viele spezielle Geräte, Speichermedien und Zusatzeinrichtungen.
Z.B. zum Auffinden beliebiger Stellen auf dem Magnetband; für Pausezeichen; schnittloses (blutloses) Cuttern, künstlichen Nachhall, Pausenzeichengeräte und Kassettenspieler für den Dauerbetrieb der Sender.

Interessant ist eine Variante von A. M. SPRINGER zum *Verändern der Tonhöhe und/oder Laufzeit*.
In dem rotierenden System befinden sich vier kreisförmig angeordnete Magnetköpfe.
Rotiert das System in Bandrichtung, so sinkt die Relativgeschwindigkeit zwischen Band und Kopf.
Dadurch ist die wiedergegebene Frequenz tiefer. Das kann aber nur für eine Vierteldrehung eingehalten werden.
Dann erhält der nächste Magnetkopf Kontakt zum Band und ein kurzes Stück der Bandaufzeichnung wird ausgelassen.
Bei entgegengesetzter Drehrichtung wird dagegen ein Stück der Aufzeichnung wiederholt.
Bei richtiger Wahl von Systemdurchmesser, Band- und Drehgeschwindigkeit werden diese Störeffekte kaum hörbar.

Eine Einteilung der Gerätetechnik betrifft Qualität und Leistungsanspruch: Studio- und Heimtechnik, HiFi-Technik.
Hinzu kamen Anwendungen für die Video- Tonfilm- und Messtechnik
Die digitale Speicherung forderte Sonderlösungen bezüglich Zugriffszeit und Datenvolumen
Die Diskette wurde sogar einmal für Still Video genutzt.
Bei den elektronischen Verfahren entstanden analoge Kommandierungen (z.B. Dolby) und digitalen Kompression.



Magnetfilm

1895 entstand der Kinofilm zunächst als Stummfilm.

1922 wird der erste Lichttonfilm vorgeführt.

1947 realisierte die DEFA die erste magnetische Aufzeichnung aller Tonaufnahmen für den Film „Wozzeck“.

Die Theaterkopien wurden allerdings noch mit Lichtton hergestellt

Etwa 1948 erschienen in den USA die ersten Magnet- und Randspurfilme.

Nach 1950 wurde die magnetische Studioaufzeichnung zum Standard,

sie blieb es bis zur digitalen Festplattenaufzeichnung ab etwa 1990.

Ab etwa 1970 erfolgt die Filmaufnahme, zunächst für nicht anspruchsvolle Filmproduktionen (Fernsehen usw.) mit der magnetischen Videoaufzeichnung.

Zur Lippen synchronität von Bild (fotographisch) und Ton (magnetisch) wurden *Pilotton* und *Magnetfilm* wichtig.

Die Grundlagen hierzu wurden 1949 mit einer Patentschrift von J. SCHÜRER (München) gelegt.

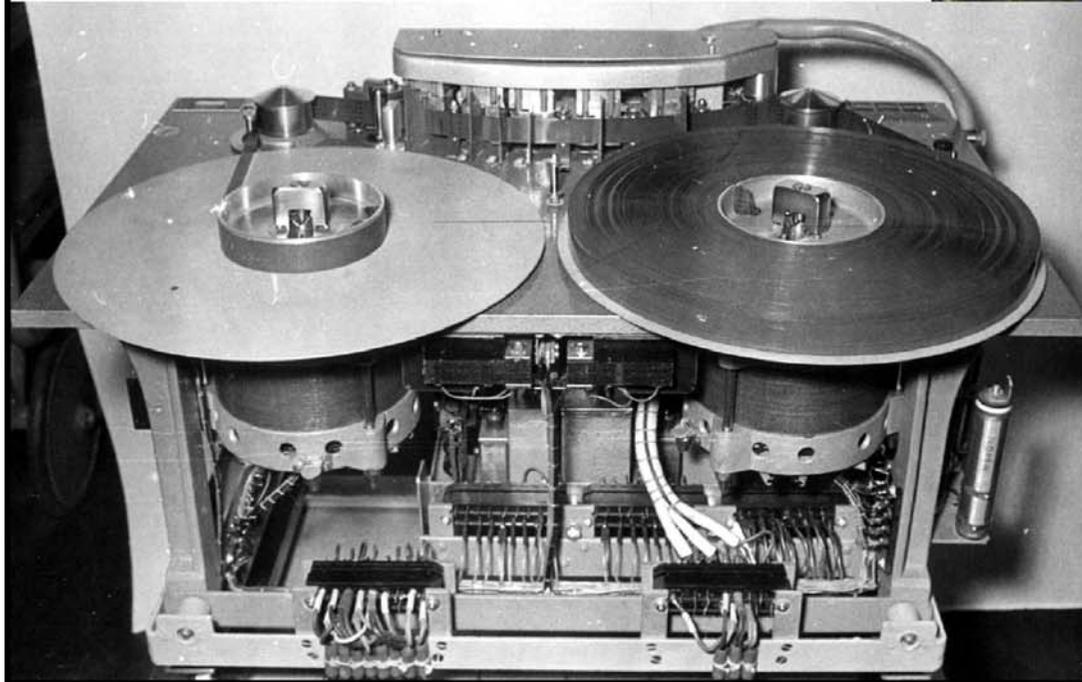
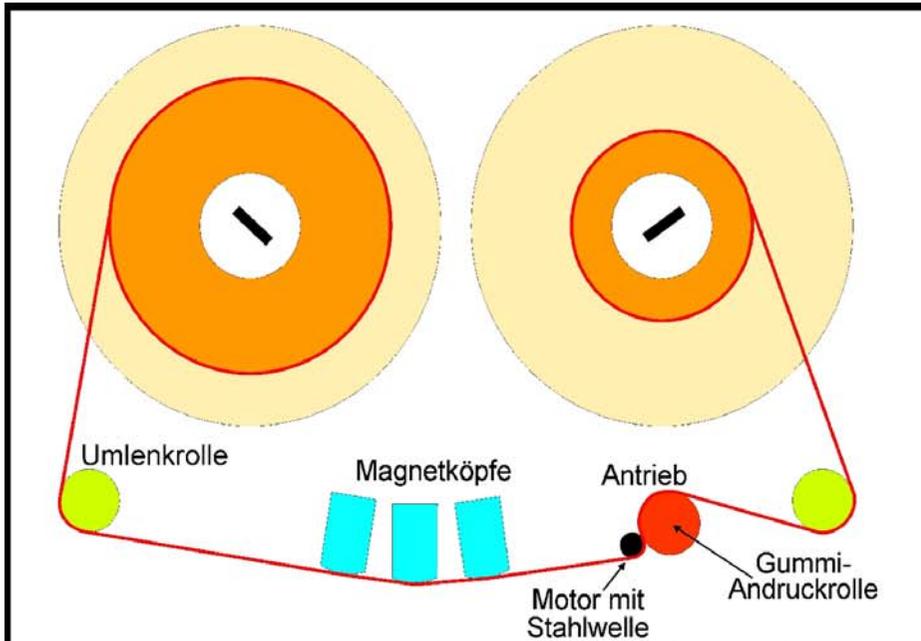
Der erstmalige praktische Einsatz einer Pilotton-Technik erfolgte 1953 bei den Aufnahmen einer Kongo-Filmexpedition des damaligen NWDR-Fernsehens.

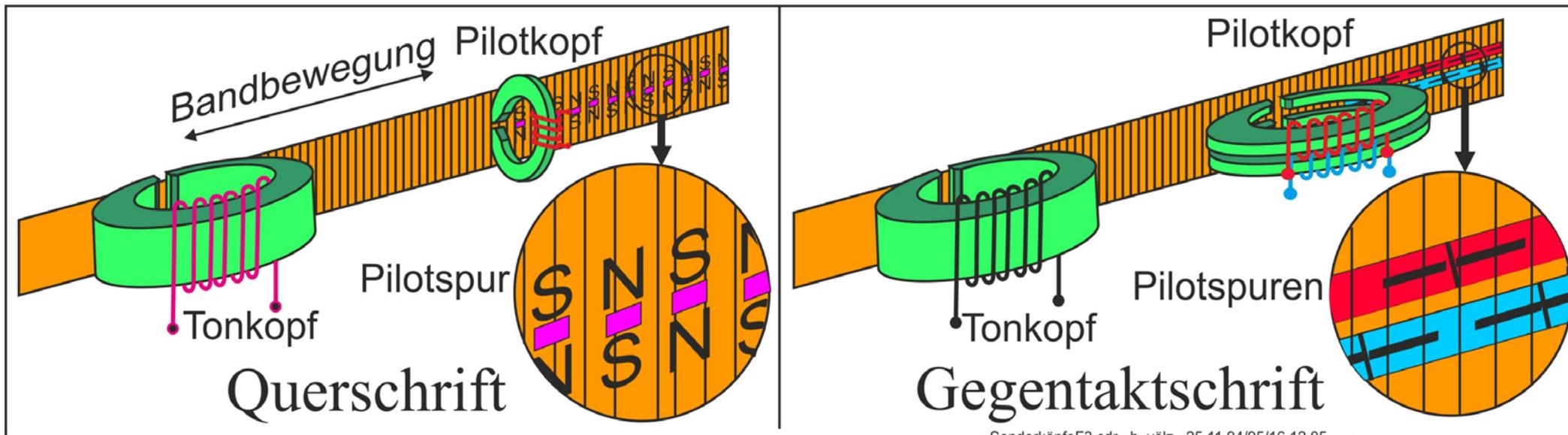
Für den mobilen Einsatz hat sich das Nagra-Gerät weitgehend bewährt.

Sehr viel später wurde bekannt, dass es bereits 1941 eine ähnliche Patentschrift von EDUARD SCHÜLLER (1904 - 1976) gab.

Von den verschiedenen Pilottonverfahren haben sich letztlich nur die beiden Varianten des folgenden Bildes.

1958 schuf KUDELSKI eine Gegentaktaufzeichnung mit Längenmodulation (Neopilot-Verfahren), fand breite Anwendung.





SonderköpfeF3.cdr h. vözl 25.11.94/95/16.12.05

Gliederung

1. Einleitung
2. Magnetismus
3. Erste Ideen und POULSEN
4. Weiterentwicklung bei STILLE
5. Entwicklung der Magnetköpfe
6. Das Magnetband
7. Das Transportwerk
8. Die HF-Vormagnetisierung
9. Nach dem Krieg
10. Breitenanwendung
- 11. Heimton- und Diktiertechnik**

Heimtontechnik

Sie müssen *preiswert* und *leicht bedienbar* sein. Das bedeutet beachtliche *Vereinfachungen*

Zunächst sind es nur stark vereinfachte Abwandlungen der 3-motorigen Studiogeräte.

Da *Motoren* waren damals sehr teuer, deshalb trieb nur einer über einen Riemen den Capstan mit Schwungscheibe an.

Deutlich später war der Nachteil des Motors sein großes Volumen und nicht mehr der Preis!

Über eine *komplizierte Mechanik* mit Kuppelungen und Getrieben erfolgte die Auf- und Abwicklung.

Über noch *längere Zeit blieb die Qualität* der Geräte deutlich hinter jener, der 1948 eingeführten Langspielplatte zurück.

Die ersten deutschen Heimtonbandgeräte benutzten die *Dreizack-Spulen* des Films.

1947 wurde das wahrscheinlich erste „*Soundmirror*“ von der Brush Development Co., Cleveland (Oh.) verkauft.

In Deutschland entstanden sie um 1950 etwa zeitgleich mit dem UKW-Rundfunk.

Das erste dürfte 1950 auf der Leipziger Herbstmesse als „*BG 19*“ des VEB Funkwerk Köpenick sein

Es folgten 1952 von Grundig „*Reporter 500 L*“ und das von AEG Berlin gefertigte „*Magnetophon KL 15*“.

Die *Stereotechnik* entstand 1958, die *Viertelspurtechnik* 1959

Die Viertelspurtechnik wurde auch zur „*Multiplay-Technik*“ weiter entwickelt.

Ab 1959 gab es auch Geräte für *Batteriebetrieb*, sie waren ab 1962 mit Transistoren bestückt.

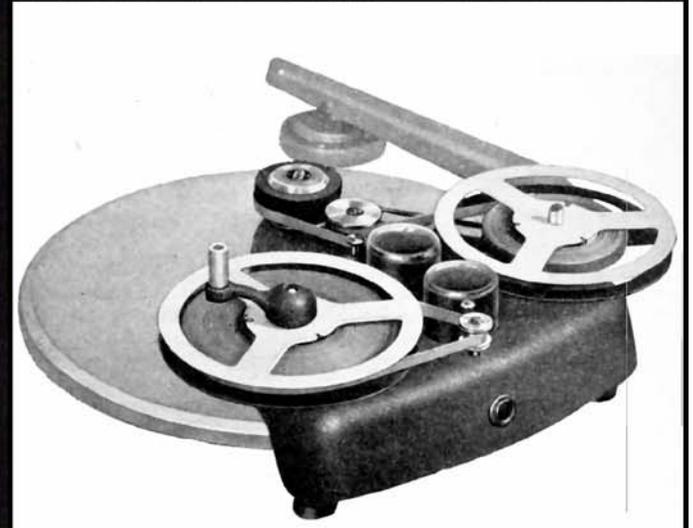
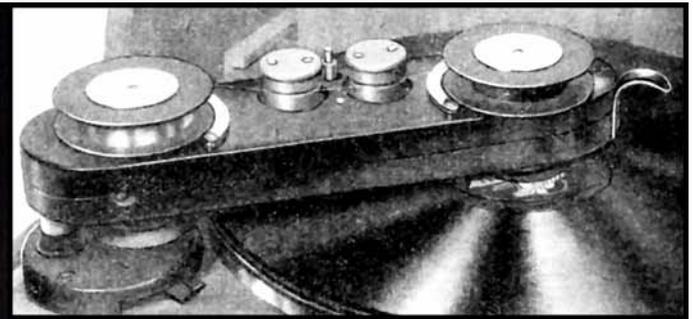
Anfangs gab es zwischendurch auch Geräte, die mit einem *Plattenspieler kombiniert* waren.

Schrittweise entstanden *Qualitätsabstufungen*, die vom Spielzeug bis zur Studioqualität und Mehrkanaltechnik reichten
Hauptkennwerte betrafen Frequenzbereich, Dynamikumfang, Gleichlauf und Cutter-Fähigkeit.

1950 entstanden die ersten *Vereinigungen für Tonbandamateure*, die regelmäßig internationale Wettbewerbe austragen.

Telefunken hatte die Bezeichnung „Magnetophon“ als *Warenzeichen* geschützt und 1961 sogar verlängern lassen.

Alle anderen Studie, Heimtongeräte mussten daher anders, Tonband-, Magnetton- oder Magnetbandgerät heißen.

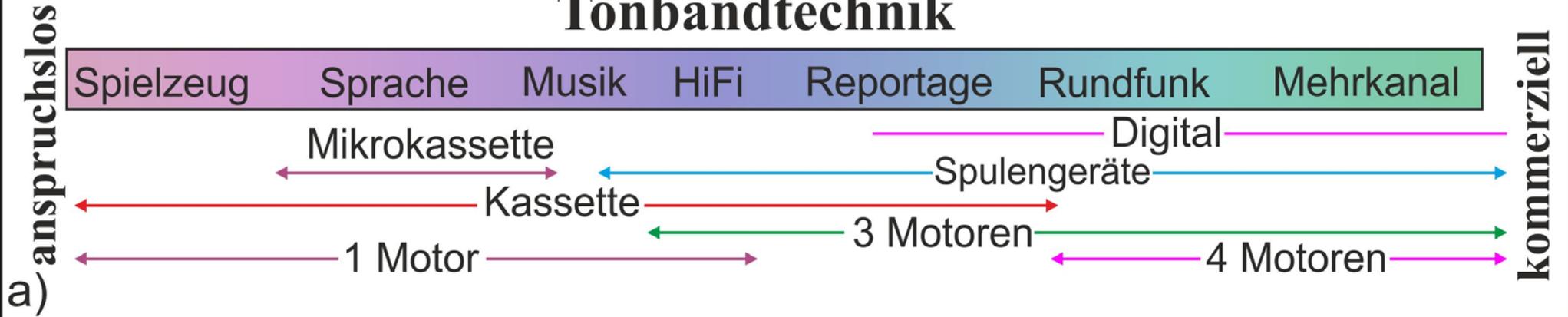


Grundig „Reporter 500 L

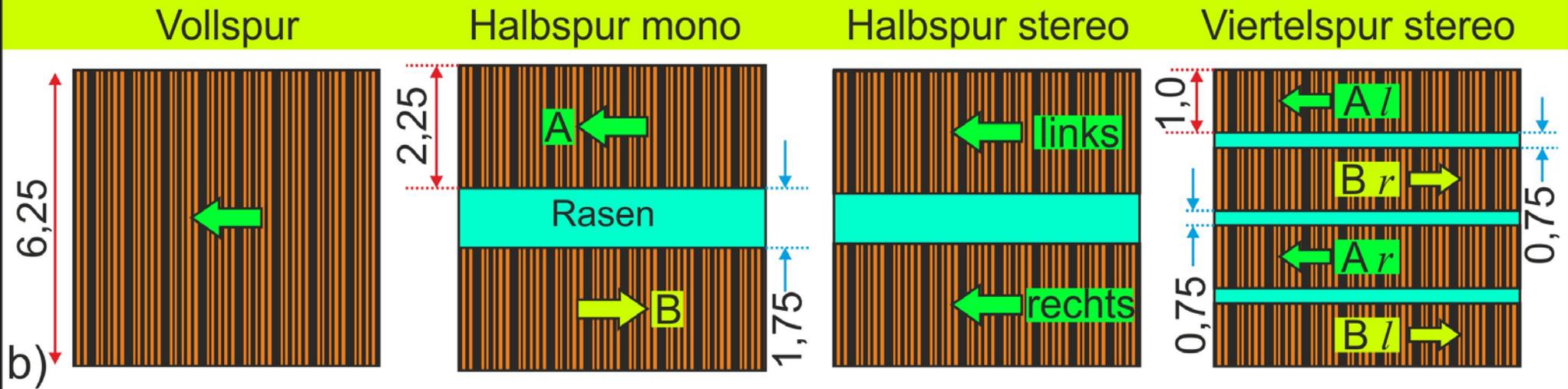
BG-19



Tonbandtechnik



Aufzeichnungen auf 6,25 mm = 1/4 Zoll Magnetband



HeimbandtechnikF.cdr h. völz 16.1.95/96/20.1.06

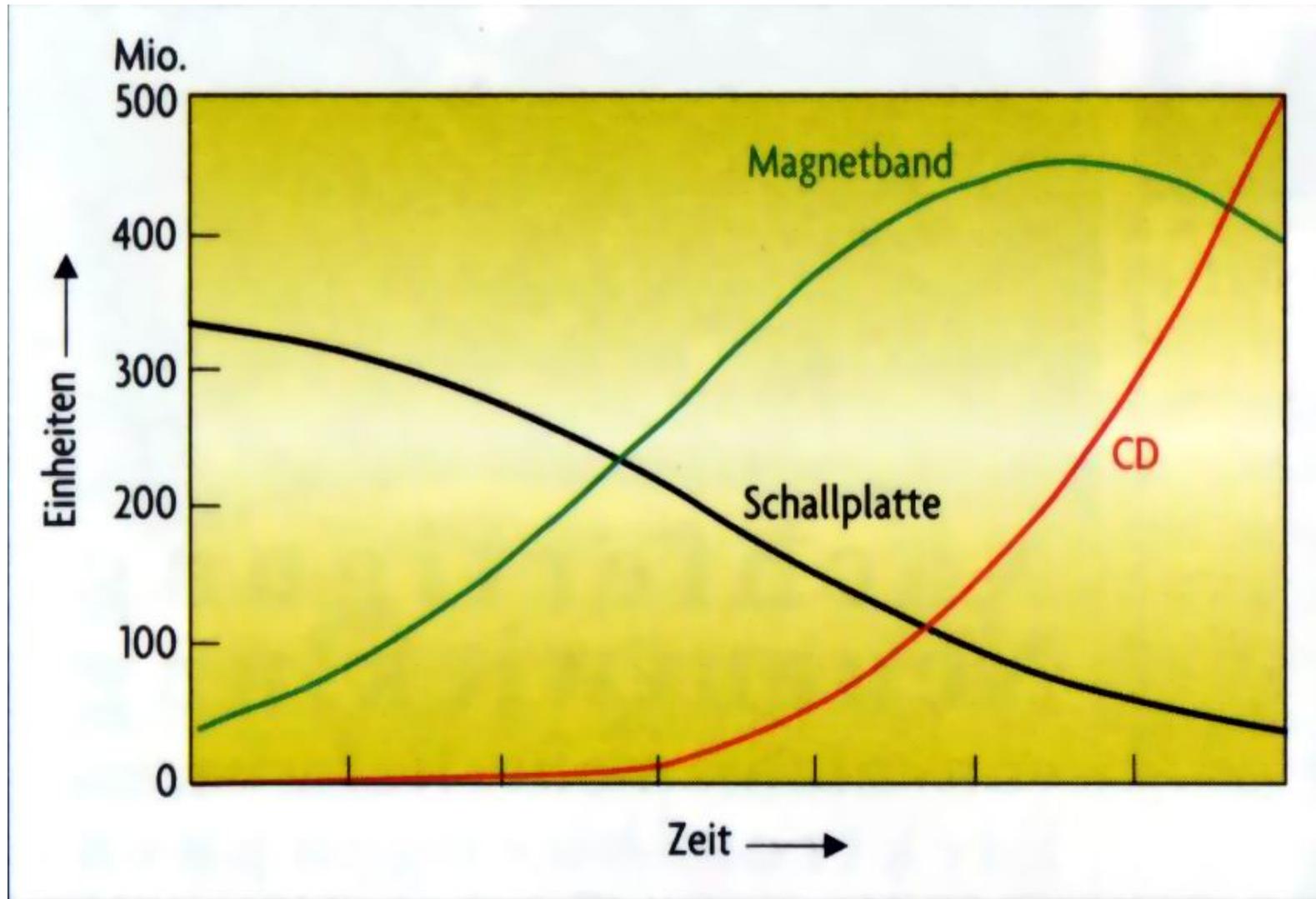


Bild 1. Substitution verschiedener Tonträgermedien. Auch hier galt: Das qualitativ bessere Medium verdrängte das bereits eingeführte.
 (Quelle: Norton & Brass/MIT Sloan School)

Zweiter Urheberstreit

Zum Ärger der Schallplattenindustrie wurden Schallplatten „umgespielt“. Damit begann der zweite Urheber-Rechtsstreit. Der erste hatte die Sendung von Schallplatten im Rundfunk und währte von etwa 1930 bis 1940. Doch längere Verhandlungen und Diskussionen brachten zunächst kein Ergebnis. Deshalb bemühte sich zunächst die Schallplattenindustrie auch bespielte Tonbänder auf den Markt zu bringen. Sie wurden zuerst 1950 von der Firma Recording Associates in New York angeboten. 1965 kamen die Musikkassetten auf den Markt.

1950 gab es ein drohendes Rundschreiben an alle Hersteller und Händler von Magnettongeräten und Zubehör. 1952 ein dickes Buch der GEMA (Gesellschaft für musikalische Aufführungs- und mechanische Vervielfältigungsrechte). Wenig später folgten die ersten Grundsatzurteile. 1965 entstand ein Gesetz, zu dem sogar die gesetzgebende Körperschaft Stellung nehmen musste. Es wurde festgelegt, dass auf jedes Gerät und jeden Tonträger eine Urheberrechtsabgabe zu entrichten ist. Damit war die rein private Aufzeichnung ohne kommerzielle Nutzung zulässig. Obwohl es ab 1.1.66 gelten sollte, gab es 1966 noch keine Einigung zum Prozentsatz der Abgaben je Gerät sein.

Compact Cassette

Da Bänder immer wieder Probleme mit dem Aufwickeln, Einfädeln und Rückspulen brachten, entstanden Kassetten. Eine der ersten hat die AEG Berlin 1943 für die Post entwickelt. Es wurde in stationäre Verstärkergestelle eingebaut. Ab 1951 entstanden mehrere, recht unterschiedliche Kassettensysteme, alle inkompatibel und verschieden groß.

Erfolg hatte ein zweites Philips-System, die „**Compact Cassette**“ mit der Kurzbezeichnung CC und 4,75 cm/s. Es wurde **1963 auf der Berliner Funkausstellung** vorgestellt.

Philips entschloss sich, auf **Lizenzrechte** an der Compact Cassette zu **verzichten**

Daher waren auch andere Hersteller bereit, das System zu übernehmen und Kassetten und Geräte zu produzieren.

Hierdurch blieb die 1965 von Telefunken/Grundig entwickelte, deutlich bessere „**DC-International**“ erfolglos. Sie wurde bereits 1967 wieder vom Markt genommen.

So wurde die CC-Technik zum größten Markterfolg der Unterhaltungsbranche, nur von der späteren CD übertroffen.

1971 erfolgte die **Normung der IEC** (International Electro Technical Commission)

Wichtig ist dabei die bessere Bandqualität nach **IEC-2**, ursprünglich mit Chromdioxid-Band.

Später folgten **Rauschminderungssysteme**, wie Dolby, DNL von Philips und High Com von AEG-Telefunken.

Ein großer Erfolg war der **Walkman** Sony TPS-L2. mit Verkaufstart 1.7.1979 und Produktion bis Ende 2010
Masse 390 g. 88×132×24 mm³. Preis Deutschland 1980 400 DM.

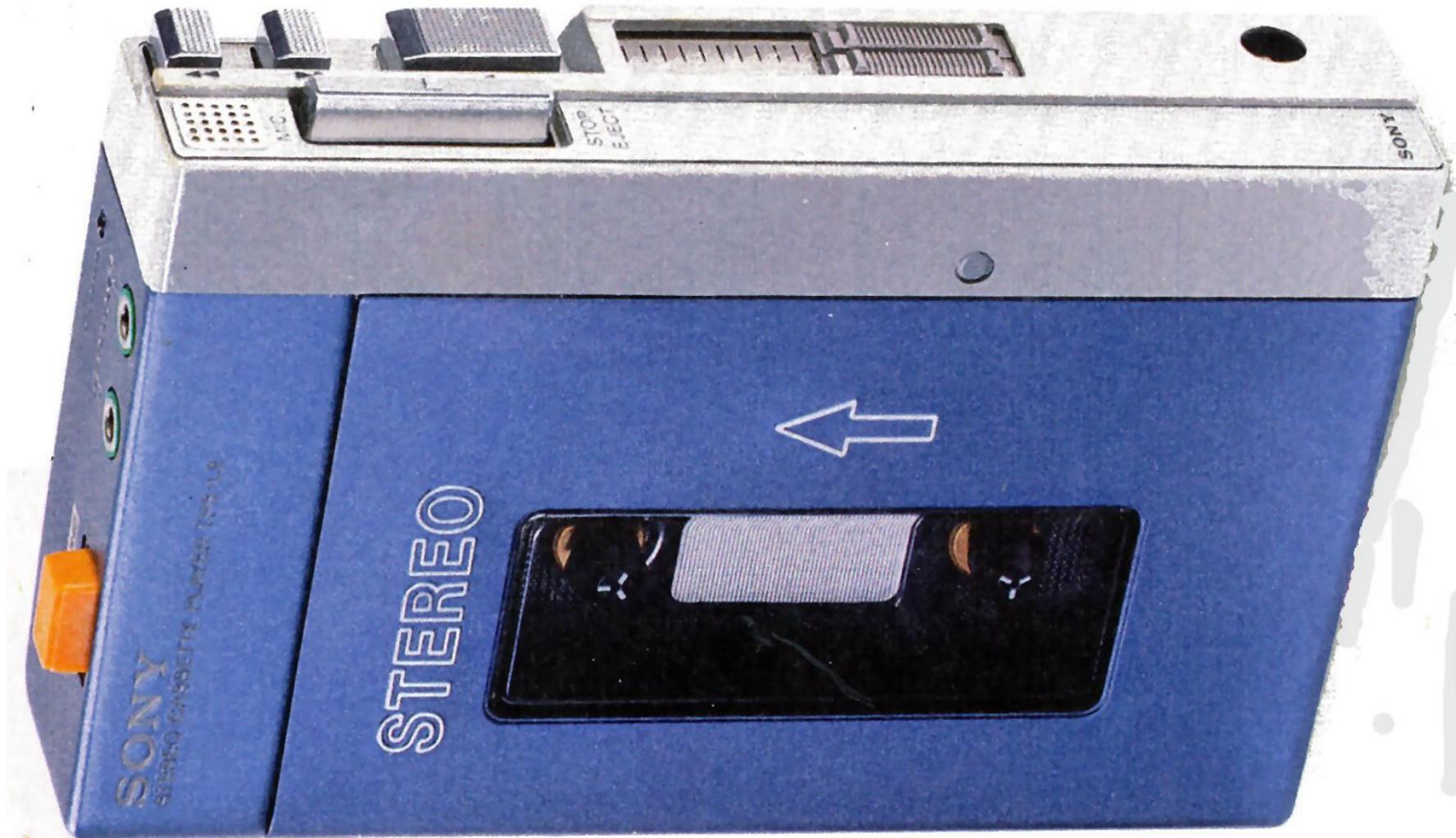
Die ersten **bespielten Kassetten** erschienen 1966 unter der Bezeichnung „Musicassette“, sofort in Stereo.

Für **Diktierzwecke** wurde die Bandgeschwindigkeit zuweilen auch auf **2,5 cm/s** herabgesetzt.

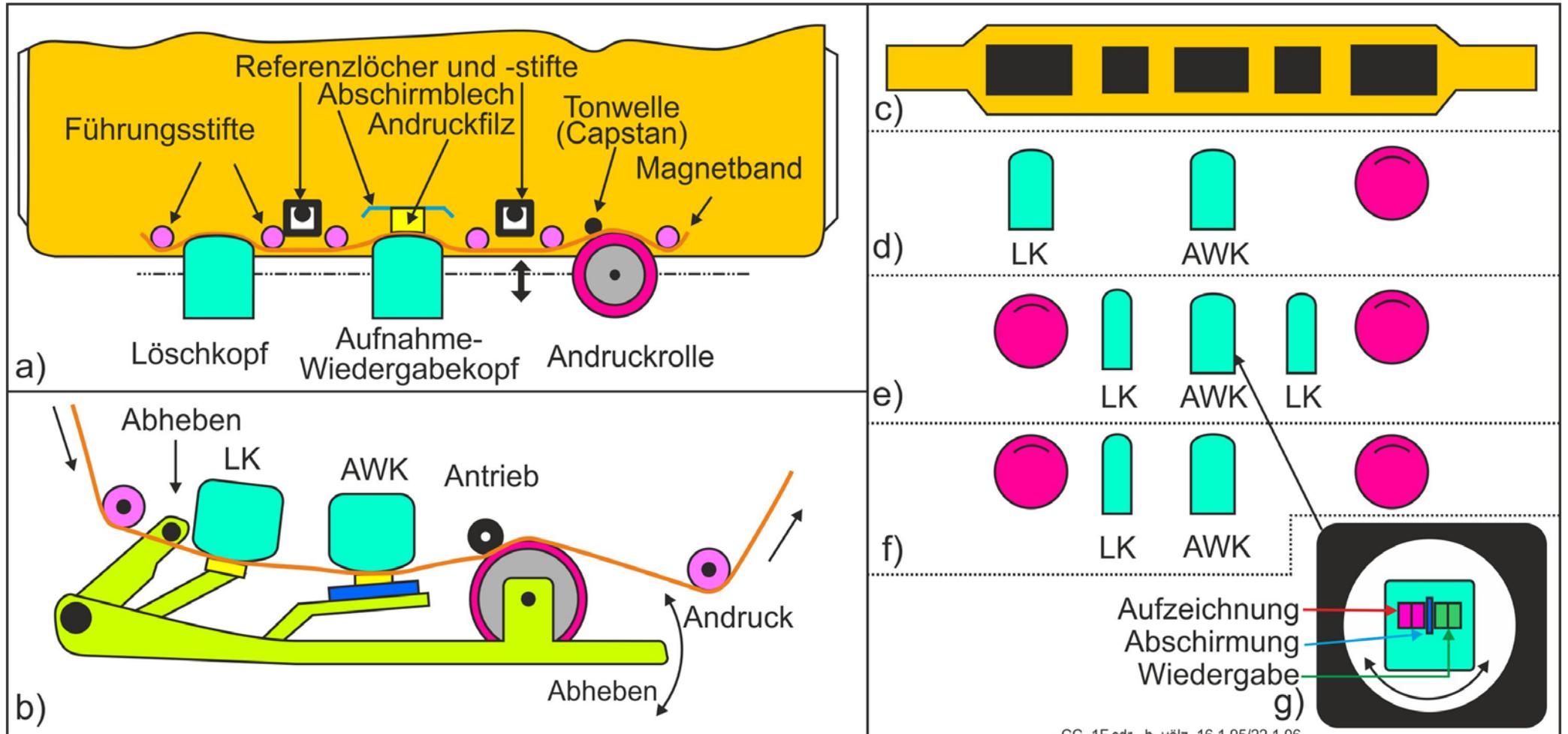
Für Sprachanwendungen Diktiertechnik entstand später die **Mikrokassette**.

Weiter ist noch die **Endloskassette** zu erwähnen

Der erfolgreiche Walkman von 1979



Varianten für den Betrieb der Compact Cassette



CC_1F.cdr h. vözl 16.1.95/22.1.06

typische Kopfanordnung

Sonderlösung für Autoreverse-Betrieb.

Diktier- und Bürotechnik 1

Die Diktiertechnik fordert spezielle Eigenschaften. Für die Sprache genügen bereits etwa 300 bis 5 000 Hz. Ein Diktat erfolgt meist in kurzen Abschnitten.

Daher ist ein schnelles, möglichst automatisches Starten und Stoppen erwünscht.

Bei der Wiedergabe ist es dann von Vorteil, wenn bei Neustart, das letzte Wort automatisch wiederholt wird.

Sonderlösungen waren auch z.B. Zeitansage beim Telefon, Rundfunk (Pausezeichen) usw.

Auch einfache Geräte als Gedächtnisstützen waren weit verbreitet.

Ab etwa 1962 erreichte auch der Telefonanrufbeantworter große Verbreitung.

Ab 1965 war zeitweilig sogar eine Sondergenehmigung der Post erforderlich.

Lösungen hierfür wurden neben dem Magnetband auch mit speziellen Medien, wie Folien und Platten realisiert. Generell waren auch erhebliche mechanische Abwandlungen notwendig.

1949 entstand das erste von der Drahttechnik abweichende Diktiergerät der Firma Assmann

Dieses „Dimafon“ benutzt Magnetplatten mit Rillenföhrung, das ermöglichte ein einfaches Rücksetzen für Wiederholung.

1964 entstand die automatische Aufnahmesteuerung (Sprachsteuerung) und hat sich schnell vollständig durchgesetzt.

Bei Sprachpausen > 2 s schaltet sie das Gerät vorübergehend aus.

Die Aufnahme muss dagegen so schnell starten, dass keine Silbe verloren geht.

Dazu ist eine gute Unterscheidung von Sprache und Raum- bzw. Umweltgeräuschen notwendig.

Diktier- und Bürotechnik 2

1967 entstand das „rols“, Es zeichnete zeilenweise auf einer Papiermagnetfolie auf. Anschließend wurde von der Vorratsrolle die jeweils aufgezeichnete Länge abgerissen. Sie konnte vorteilhaft an die Kopie des Schreibens abgeheftet werden, oder als Original verschickt werden.

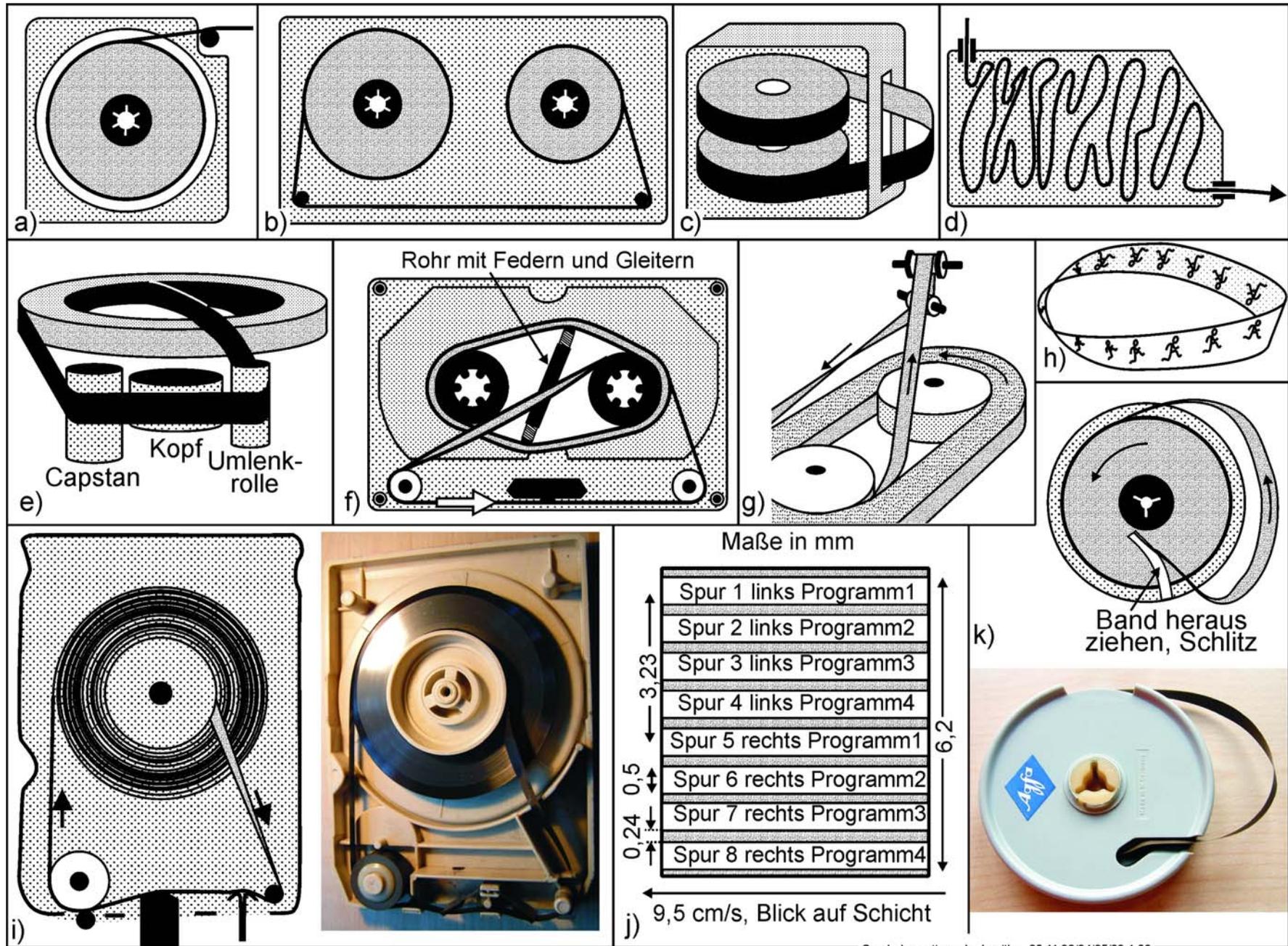
Ab Mitte der 60er Jahre wurden auch extrem kleine, so genannte „elektronische Notizbücher“ produziert. Sie benutzen Kleinstkassetten, höchster Speicherdichte, einfachster Mechanik und integrierte Halbleiterelektronik. Typisch ist das ab 1964 von Grundig produzierte „EN 3“. Kassette = $5,4 \times 3,8 \times 0,8$ cm³, Masse 7 g, 2 × 10 Minuten.

Als weitere Besonderheit sei noch die Sprachaufzeichnung für Sehbehinderte und Blinde genannt. Hierbei steht die Bereitstellung bzw. Ausleihe besprochener Kassetten im Vordergrund. Seit 1968 gibt es die große Blinden-Bibliothek in Leipzig, die jährlich mehrere 100 000 Bänder ausleiht. Es gab sogar Tonbandzeitschriften im Abonnement.

Sonderlösungen brachte auch der Sprachunterricht mit der Endloskassette. Sie gab es in Kaufhäusern mit z.T. spezieller „Backgroundmusik“ in Flugzeugen usw. als Mehrspurvariante zur individuellen Auswahl einer Spur (Genre).

Schließlich sei noch Spielzeugvarianten, einschließlich sprechender Puppen und Bücher erwähnt.

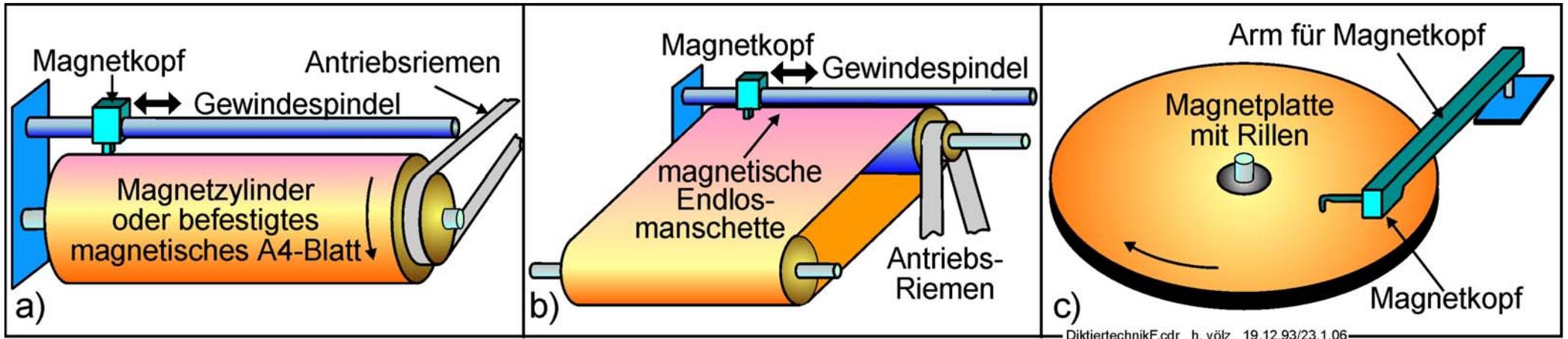
Weniger bekannt sind die kleinen transportablen Geräte für Spionage und Geheimdienste.



Maße in mm

3,23	Spur 1 links Programm1	6,2
	Spur 2 links Programm2	
	Spur 3 links Programm3	
	Spur 4 links Programm4	
0,5	Spur 5 rechts Programm1	
	Spur 6 rechts Programm2	
0,24	Spur 7 rechts Programm3	
	Spur 8 rechts Programm4	

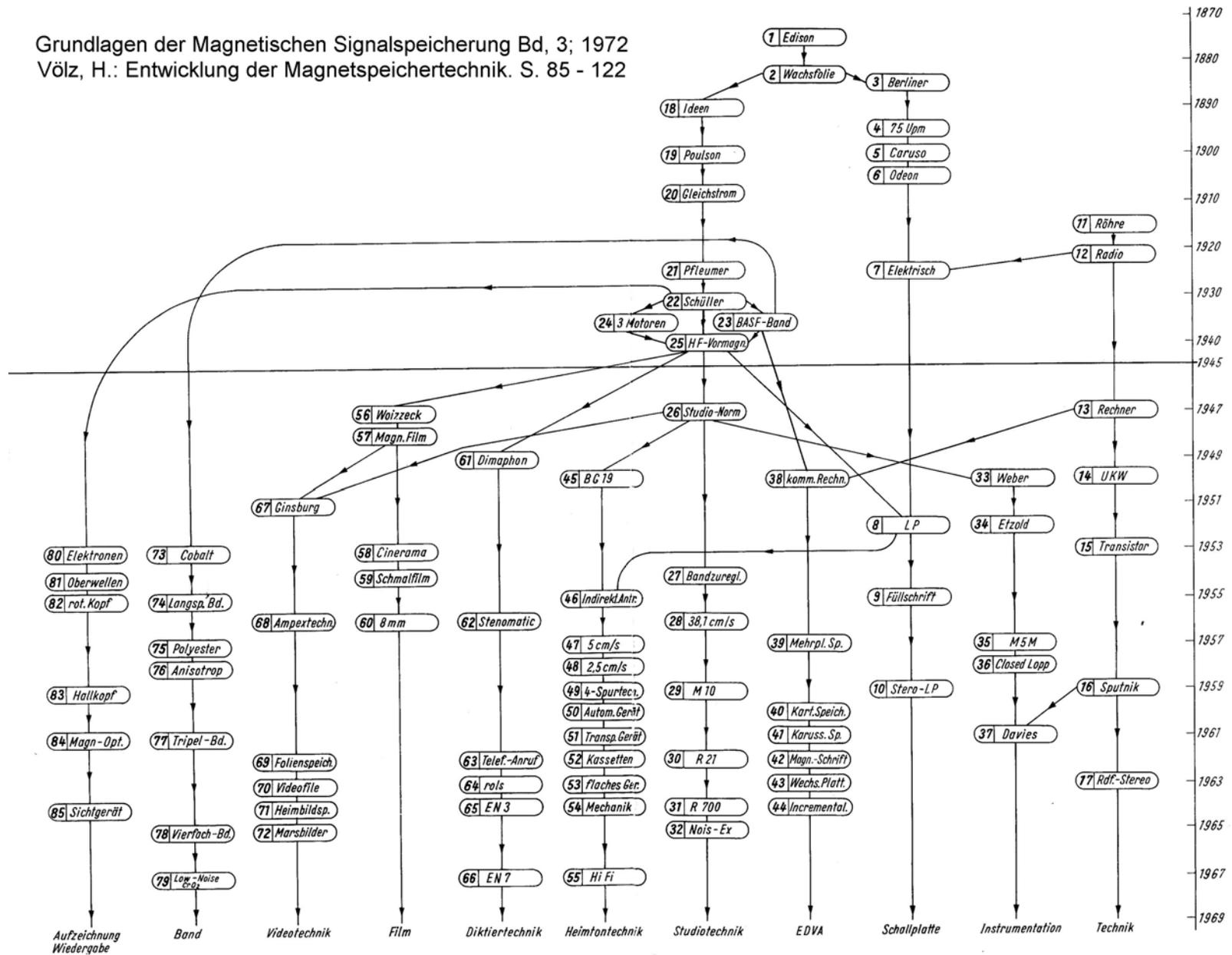
9,5 cm/s, Blick auf Schicht



Zeittafeln

Die folgenden drei Varianten wurden zu unterschiedlicher Zeit und aus zwei Sichten erstellt.
Sie dürften weitgehend selbsterklärend sein.

Grundlagen der Magnetischen Signalspeicherung Bd, 3; 1972
 Völz, H.: Entwicklung der Magnetspeichertechnik. S. 85 - 122

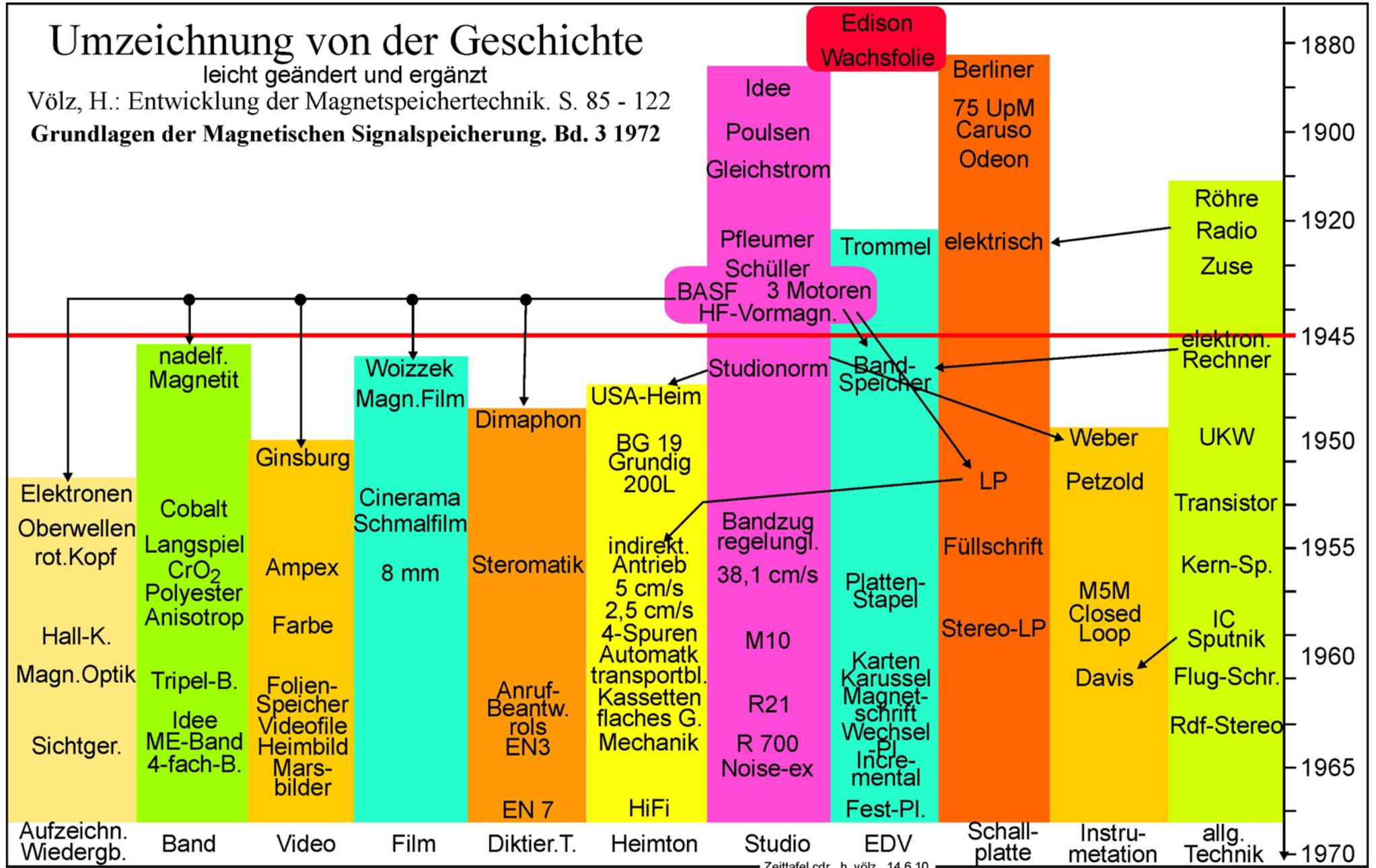


Umzeichnung von der Geschichte

leicht geändert und ergänzt

Völz, H.: Entwicklung der Magnetspeichertechnik. S. 85 - 122

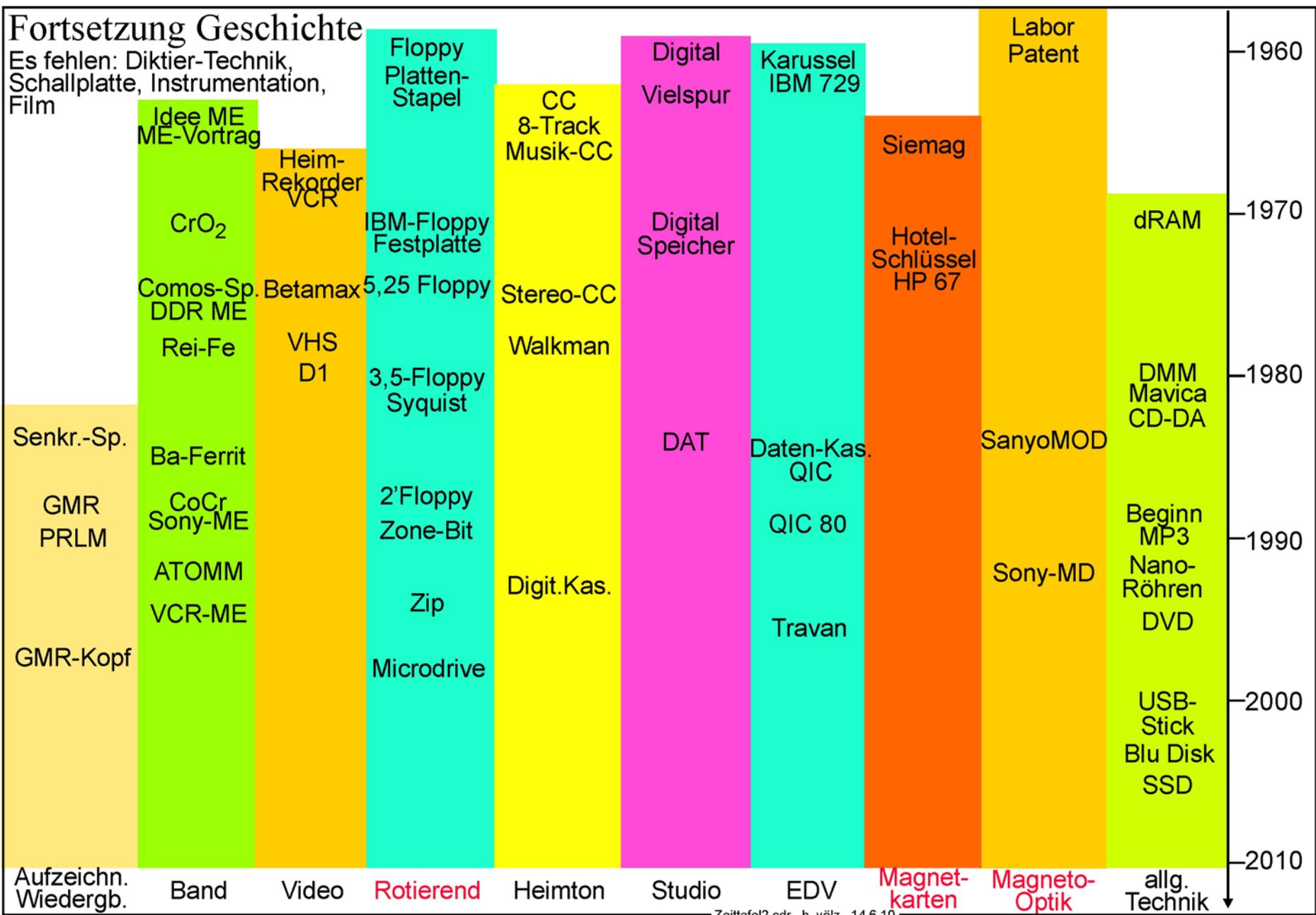
Grundlagen der Magnetischen Signalspeicherung. Bd. 3 1972



Zeittafel.cdr h. völz 14.6.10

Fortsetzung Geschichte

Es fehlen: Diktier-Technik, Schallplatte, Instrumentation, Film



Zeittafel2.cdr h. vözl 14.6.10

Literatur

- Engel, F.; Kuper, G.; Bell, F.: Zeitschichten: Magnetbandtechnik als Kulturträger. Erfinder-Biographien und Erfindungen, Polzer, Potsdam 2008
- Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information. Bd. 3, Shaker Verlag Aachen 2007
- Völz, H.: Das Mensch-Technik-System. Expert-Verlag, Renningen - Malsheim 1999
- Völz, H. (Hrsg.): Grundlagen der Magnetischen Signalspeicherung, Band 3. Akademie - Verlag, Berlin 1972. u. a.
Kapitel: H. Lehmann: Heimmagnetbandtechnik u. H. Völz: Entwicklung der Magnetspeichertechnik.
- Völz, H.: Informationsspeicher, Grundlagen - Funktionen - Geräte. Expert-Verlag, Renningen - Malsheim 1996
- Ardenne, Effenberger, Müller, Völz: Untersuchungen über Herstellung und Eigenschaften aufgedampfter Magnetschichten als Speicherschichten für Magnetbänder. IEEE Trans. Mag. MAG-2 (1966) 3, 202-205

Anhang

Der R3m wurde 1989 beim Phobos Projekt (Marsmond) benutzt.

Die Idee zu dieser Mission entstand ca. 1988 in den USA. (internationale Zusammenarbeit!)

Nur die russische Raketentechnik ermöglichte damals einen 29-t-Satelliten dorthin zu senden.

Speicherkapazität/Kassette. 200 MByte (1,6 Gbit)

Speicherdichte 86 bit/mm

Datenrate max. 8 Mbit/s

Transponierung W/A..... 1:2 (1:100)

Bandgeschwindigkeit max. 120 cm/s

Band-Länge..... 220 m

Band-Breite 6,25 mm

Magnetkopf Sendust

Spaltweite..... 0,6 μm

Modulation 4/5 Gruppencode

Fehlerkorrektur/Fehlerrate . ja/ 10^{-6}

Abmessungen..... 19“-Einschub

Temperaturbereich 0 ... 45°C