

Prof. Dr. Horst Völz

Möglichkeiten, Anwendungen und Grenzen von Visualisierung und Sonifikation Teil 2

Dieses Material beruht u. a. auf den Büchern:

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

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

Letzteres ist auch auf der CD enthalten:

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

Weitere Literatur am Ende

Bei Angabe der Quelle ist das 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: ca. 2000×3000 Pixel oder *.cdr Version 12

Material downloadbar von: www.horstvoelz.de

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

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

Abgrenzung

Zunächst werden die einfachen optischen Instrumente (Vergrößern, Heranholen) behandelt.

Es folgen Fotografie und Projektion, Verzerrungen bei Bildern und Landkarten.

Es schließen sich an: bildgebende Verfahren in Wissenschaft, insbes. medizinische Diagnostik

Dan folgen Bilder aus experimentalen Daten, Messungen usw.

Sonderformen sind 3D-Bilder, Holographie, Magic Ey und Panorama.

Bezug wird genommen auf Escher-, Umschlagbilder, Bildvervollständigung, Anamorphosen usw.

Mathematische Formeln lassen sich mit Bildern veranschaulichen, z. B. Topologie, Fraktale.

Sonderformen der bildlichen Darstellung betreffen Sprache, Zeichen, Schriften für Tanz usw.

In der Geschichte gab es ein Kommen und Gehen der Bilder, bis zur heutigen Macht der Bilder.

Hören

wird später behandelt:

hier werden erfasst: Signalwirkung (Klopfzeichen usw.) Lageröl, Glocken in Europa, Autohupe.

sowie Stethoskop, Sprach- und Sprechererkennung, Rauschen der Muschel,

Es folgen Bilder im Kopf (Hörspiele), Donner usw.

Beachtet werden Orientierung für Blinde, bei Fledermäusen und Walen sowie Raumakustik

Einen Bezug gibt es zur musikalischen Wahrnehmung (z.B. 6. Beethoven usw.)

Aber auch Trommelsprache, Planetentöne, Audio Art, Schall und Bilderflut

Schließlich folgt die Umsetzung experimentaler Daten in Akustisches

Was Bilder sind

Der Begriff Bild wird recht vielfältig gebraucht, Die zeigt die folgende Aufstellung.

- allgemein *erkenntnistheoretisch* im Sinne von **Rezeption**, genauer **Abbild, geistige Vorstellung**
- Bild als **Fotografie (Lichtbild), Druck** usw. vorwiegend bzgl. der Wirklichkeit
- **Künstlerisch** als Gemälde, Grafik, Zeichnung und deren Reproduktion (Urheberrecht)
- in der **Mathematik**, Menge der von einer Funktion angenommenen Werte
- in der **Psychologie**, inneres Vorstellungsbild
- im **Theater**, Abschnitt eines Theaterstücks ohne Dekorationswechsel
- Bild als deutsche **Boulevardzeitung**
- in der Filmtechnik ein **Einzelbild**

Für die weiteren Betrachtungen interessiert fast nur das **in normaler Beleuchtung sichtbare Bild**.

Vielfalt der Bilder

Direkte Ableitungen

- **Abbild** möglichst originalgetreues Bild, genaue Wiedergabe, Spiegelbild und Widerspiegelung
- **Abbildung**, Darstellung, Ergebnis und Widerspiegelung, Prozess des Abbildens
- **Bildnis** bild- oder sinnhafte Darstellung eines Menschen; Porträt, Selbstbildnis, Konterfei (scherzhaft); Anblick, Ansicht, Augenschmaus.
- **Bildung** als Ergebnis allseitiger Erziehung und Kultur, Belesenheit; Allgemeinbildung, Benehmen, Allgemeinbildung, Gelehrsamkeit; im Bilde sein, ins Bild setzen und sich ein Bild von einer Sache machen.
- **bilden** 1. erziehen, formen; sich bilden, qualifizieren; als Ergebnis gebildet sein
≠ 2. etwas gestalten, formen, hervorbringen oder etwas entsteht, bildet sich.

Beispielwörter, die Bild enthalten

Blut-, Brust-, Bühnen-, Charakter-, Computer-, **Eben-**, **Ein-**, Farb-, **Feind-**, **Ge-**, Gedanken-, Hör-, **Klang-**, Klein-, Krankheits-, **Leit-**, Leucht-, Licht-, Luft-, **Manns-**, **Menschen-**, Mosaik-, Nach-, Öl-, Pass-, Pastell-, Phantasie-, Raster-, Raum-, Röntgen-, Schalt-, Schatten-, Schau-, Schirm-, Schreckens-, **Schrift-**, **Sinn-**, Sitten-, Spiegel-, Spott-, **Stand-**, Stereo-, **Stern-**, Tafel-, Test-, Titel-, **Ton-**, **Traum-**, **Trug-** **Un-**, Ur-, Vexier-, **Vor-**, Wahn-, **Weibs-**, Wellen-, **Welt-**, Wunsch-, Zeit-, Zerr-**Bild**.

Abbildung, **Ausbilder**, **Ausbildung**, bildhaft, bildlich, bildlos, Bildschirm, bildschön, einbilden, Gebilde, im Bilde sein, ins Bild setzen, Nachbildung, Unbilden, Bilder als Sinnestäuschung.

Beispielwörter, die Bilder betreffen

Abklatsch, Anaglyphen (rot-grün-Stereobild), Applikation (z. B. auf Stoff), Aquarell, Atlas (anatomisch oder geographisch), Aufkleber, Barcode, Batik, Bemalung, Briefmarke, Cartoon, Comics, Darstellung, Dessin (Verzierung), Diagramm, Drudel (an der Wand von Renaissancebauten), Exlibris, Fata Morgana (Luftspiegelbild), Fayence, Fraktal, Fresko, Gobelin, Grafik, Graffiti, Gravüre, Holzschnitt, Idol, Ikone, Intarsien, Kalligraphie, Karikatur, Karte, Klischee, Kopie, Kunstdruck, Kupferstich, Linolschnitt, Lithographie, Lichtdruck, Medaillon, Majolika, Mosaik, Miniatur, Original, Ornament, Panorama, Pastell, Piktogramm, Pinup, , Plakat, Plan, Plastik, Portrait, Porno, Poster, Postkarte, Pseudo-Stereogramm, Puzzle, QR-Code, Radierung, Relief, Schattenriss, Schautafel, Schema, Scherenschnitt, Schild, Schriftzug, Sgraffito (insbesondere auf Metall oder Stein), Signatur, Signet, Skizze, Skulptur, Smily, Spielkarte, Stilleben, Symbol, Tafel, Tatio, Tätowierung (tahitisch *tatau* eintätowiertes Zeichen), Transparent, Vignette, Wandteppich, Wappen, Zeichen.

Spezielle (nichtsichtbare) Bilder

Bilder wollen, sollen **gesehen** werden. Dazu brauchen sie **Licht** Im Dunkeln sieht man sie nicht.

Es gibt auch **selbstleuchtende Bilder** (Bildschirme) oder per Lumineszenz, insbesondere bei UV-Bestrahlung.

Es gibt auch nicht sichtbare Bilder, die daher eigentlich **erst sichtbar gemacht** werden müssen.

Virtuelle Bilder kommen in der Optik vor (Mikroskop, Fernrohr s.u.) sie werden mittelbar betrachtet, können aber prinzipiell oder teilweise (auf Papier) aufgefangen werden

Die Bilder aus den ursprünglichen **Silberkeimen der klassischen Fotografie** werden sogar durch Licht zerstört, müssen erst im Dunkeln chemisch entwickelt werden.

Bilder existieren oft als **Dateien**, müssen dann **dargestellt** (gedruckt usw.) werden, z. T. müssen sie vorher sogar **erst berechnet** werden (z. B. Fraktale, L-Systeme).

Einige Bilder können **unvollständig** sein (Teil 1), meist sie werden dann vom **Gehirn vervollständigt**.

Es gibt auch (absichtlich) **stark verzerrte Bilder**, die zum Betrachten erst entzerrt werden müssen

Fingerabdrücke der Kriminalistik und andere Spuren müssen erst durch spezielle Methoden sichtbar gemacht werden.

Lupe

Es gibt vieles, das zum Betrachten zu klein ist.

Bei der Betrachtung helfen hier Lupen und in extremen Fällen Mikroskope.

Für die Vergrößerung einer Lupe gilt mit ihrer Brennweite f :

$$V \approx a_L / f.$$

Darin ist a_L der übliche Sichtabstand mit meist 250 mm (normaler Leseblick).

Nach diesem Prinzip sind Vergrößerungen von 2- bis maximal 10-fach realisierbar.

Für größere Werte muss die Brennweite $f < 25$ mm betragen.

Solche Linsen sind so dick, dass kaum genügend Abstand zum Betrachteten möglich ist.

Außerdem werden ihr maximaler Durchmesser und damit auch das Blickfeld recht klein.

Eine starke Vereinfachung der Lupe ist die **Fresnel-Linse**. Hier wird die Dicke radikal verkleinert.

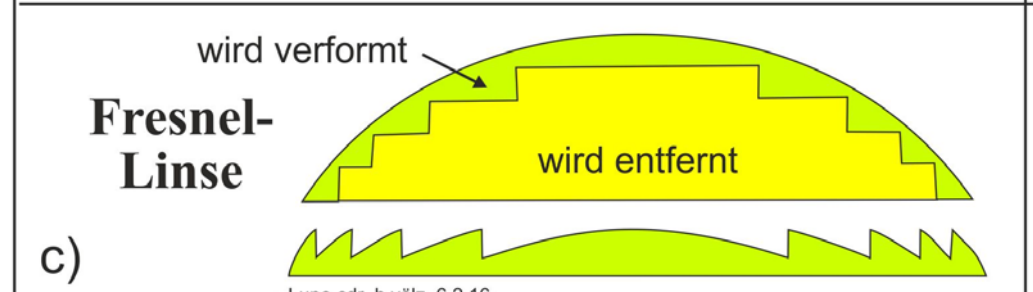
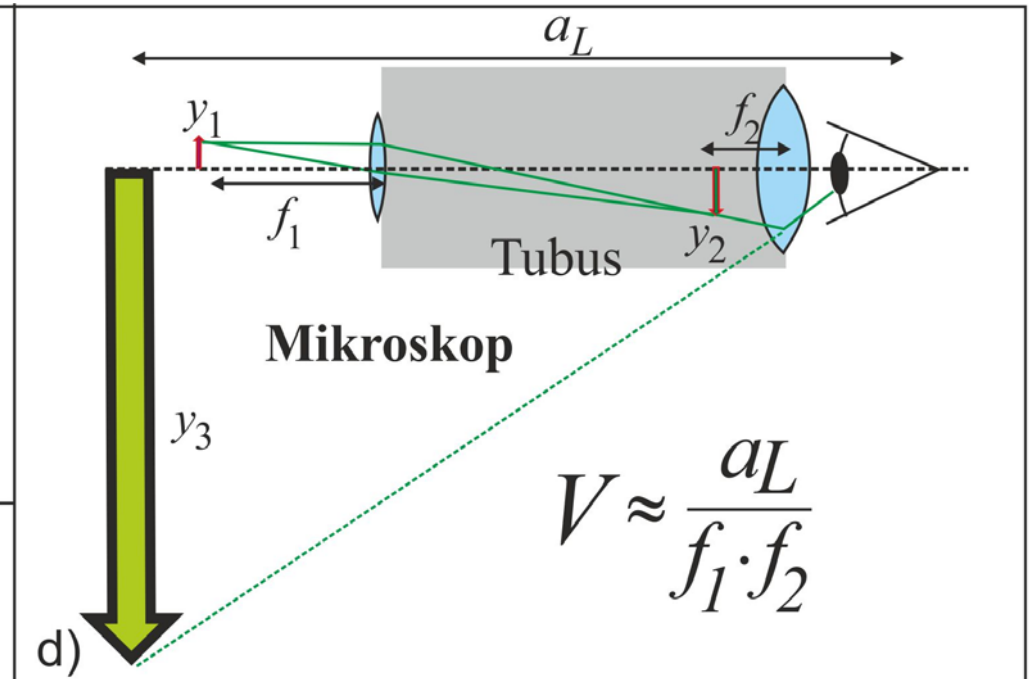
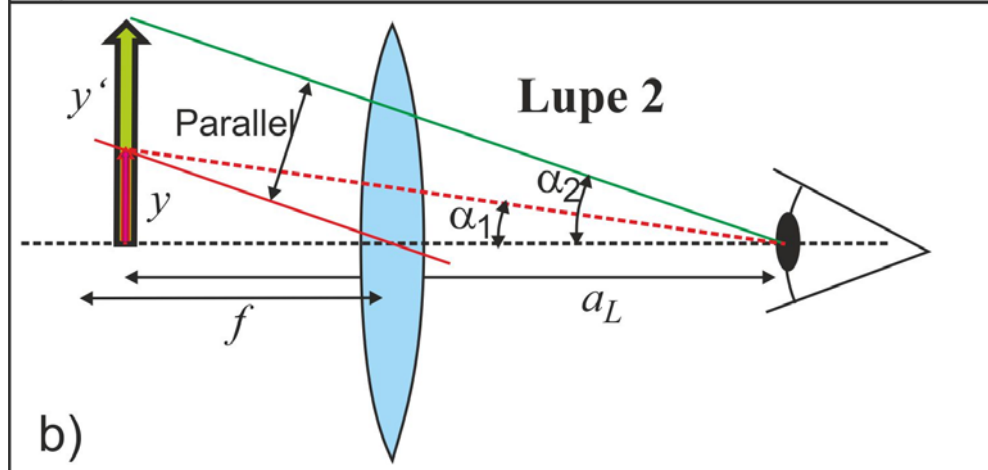
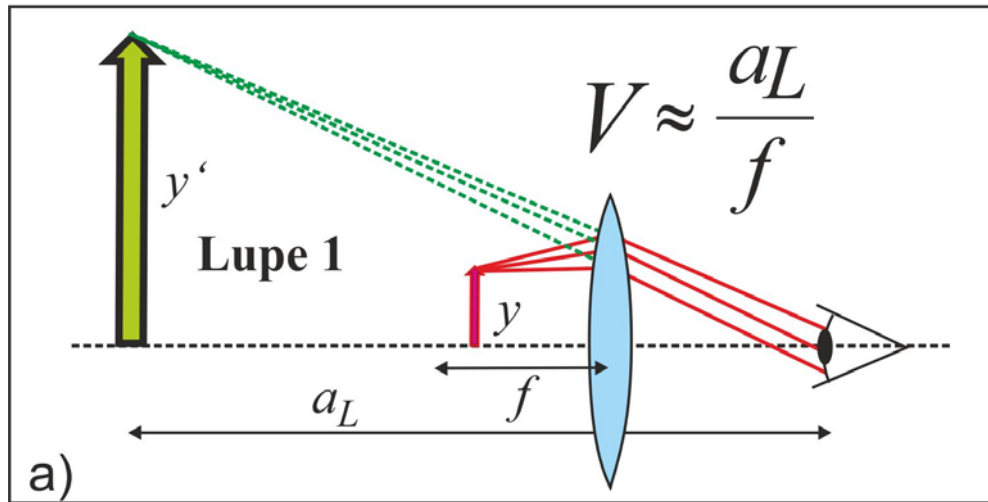
Dazu werden rechteckige Abschnitte „herausgenommen“

In der Praxis wird sie durch Pressungen aus Kunststoff produziert.

So ergeben sich Lupen in der Größe vom Scheckkartenformat bis zum halben Meter.

Für einige Anwendungen gibt es auch **Hohlspiegel**, die sich wie Lupen zur Selbstbetrachtung eignen.

Anwendung u. a. Rasieren, Kosmetik.



Lupe.cdr h.völz 6.2.16

Mikroskop

Mehr Vergrößerung ermöglichen Mikroskope mit zwei Linsen in einem Tubus.

Das Objektiv besitzt die kurze Brennweite f_1 . Ihm folgt das Okular mit f_2 .

Das Objektiv erzeugt vom Gegenstand y_1 ein erheblich vergrößertes virtuelles Bild y_2 .

Hierbei stört nicht das kleine Objektiv

Dann wird das virtuelle Bild durch das Okular (Quasilupe) noch mal vergrößert y_3 betrachtet, Daher.

$$V = \frac{a_L}{f_1 \cdot f_2}.$$

Die Auflösung σ von Linse, Mikroskop und Fernrohr ist durch erste Linse bestimmt.

Mit der Wellenlänge λ und dem maximal zugelassenen Unschärfekreisdurchmesser u . gilt:

$$\sigma \approx 0,61 \cdot \lambda / u$$

Wesentlich begrenzend ist also die Wellenlänge. Hier sind erhebliche Erweiterungen möglich (s. u.)

Für Lichtmikroskope sind Vergrößerungen bis 1000-fach möglich.

Die Grenze folgt u. a. aus Beugungen sowie dem Rayleigh-Kriterium und Abbe-Limit (1823).

Die absolute Grenze ist mit (Immersion-) Flüssigkeiten zwischen Linse und Objekt erreichbar.

Beobachtungen sind in Auf- und Durchlichtmodus, sowie mit Fluoreszenz (durch UV) möglich.

Weiter Beobachtungsmethoden: Phasenkontrast, Dunkelfeld usw. [1].

Elektronische Fotografie

Einen großen Fortschritt für die Fotografie brachte die CCD-Technik (charge coupled device)

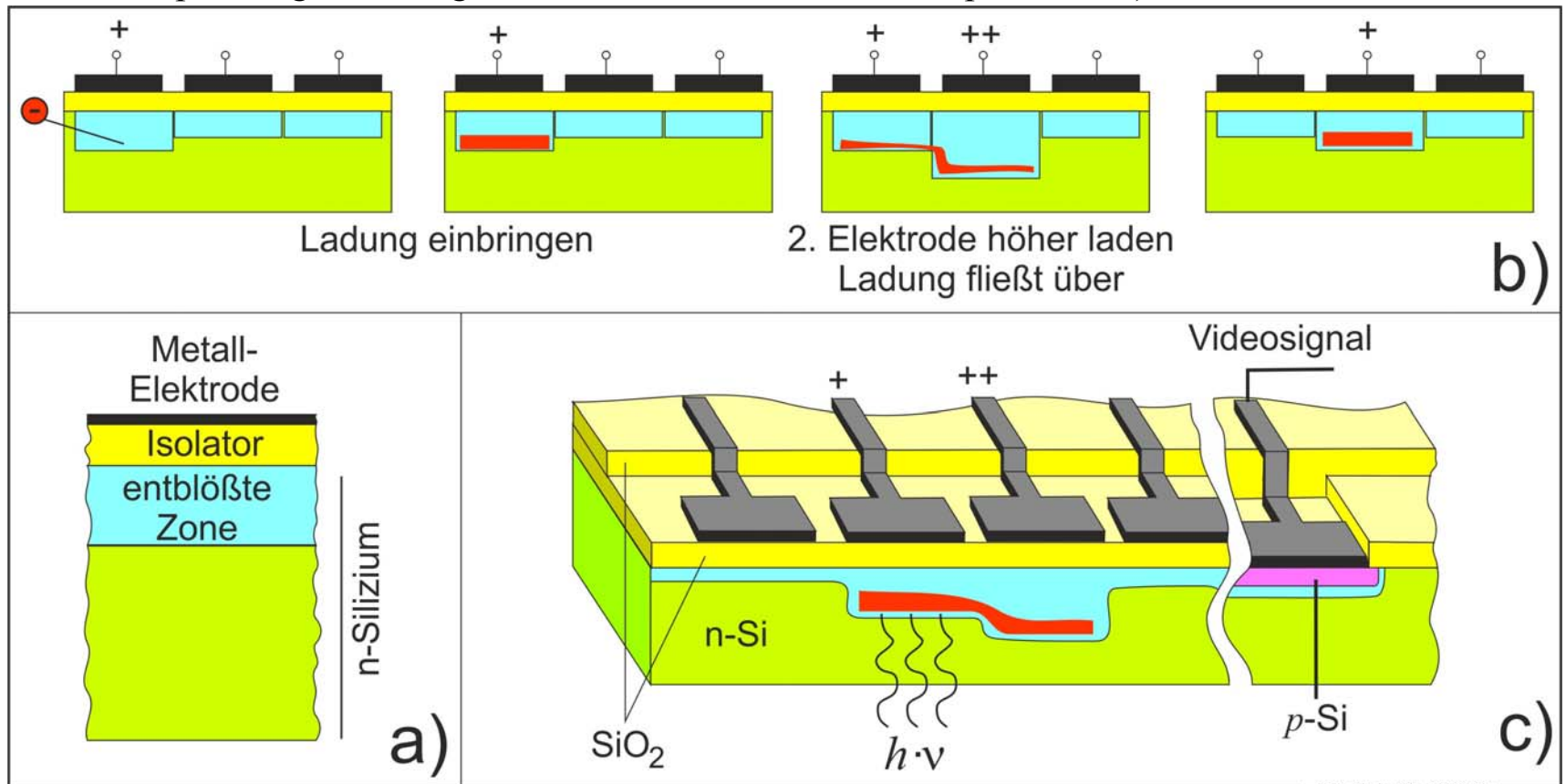
Gemäß dem Bild beruht sie auf Halbleiterstrukturen a).

Eine passend angelegte Spannung bewirkt unter der Metallelektrode eine von Ladungsträgern entblöste Zone.

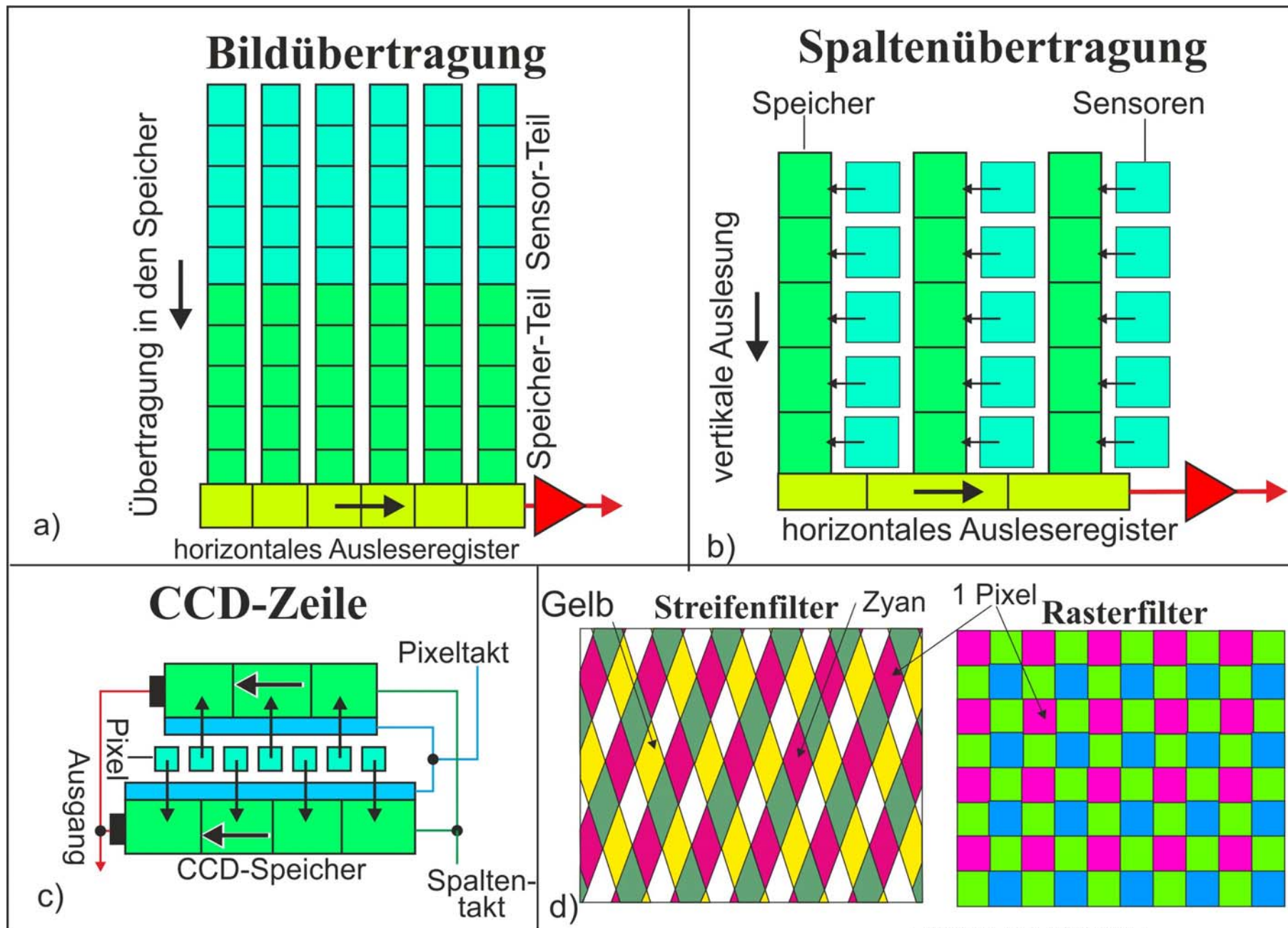
Hier können durch pn-Übergänge oder Fotoanregung zeitweilig Ladungsträger eingebracht werden.

Sie lassen sich leicht durch Spannungsänderungen zu benachbarten Zonen transportieren b).

Auf dieser Grundlage entstanden die CCD-Matrizen für die Fotografie (s. u.). Sie wurden später durch CMOS-Bau-elemente ergänzt bzw. ersetzt. Das Folgende Bild zeigt Matrizen und Farbfilter.



ccd1.cdr h. völz 29.12.95



FotoCCD.cdr h. völg 89/94/95/23.7.05

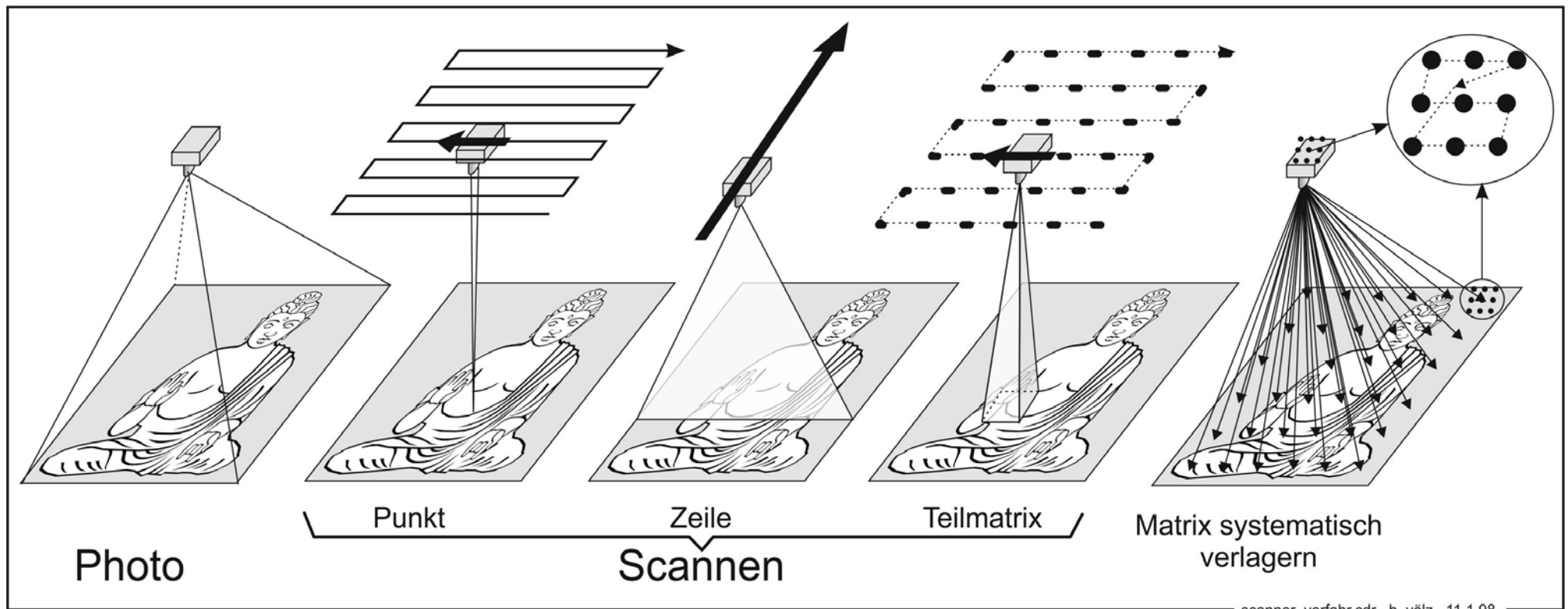
Scannertechnik

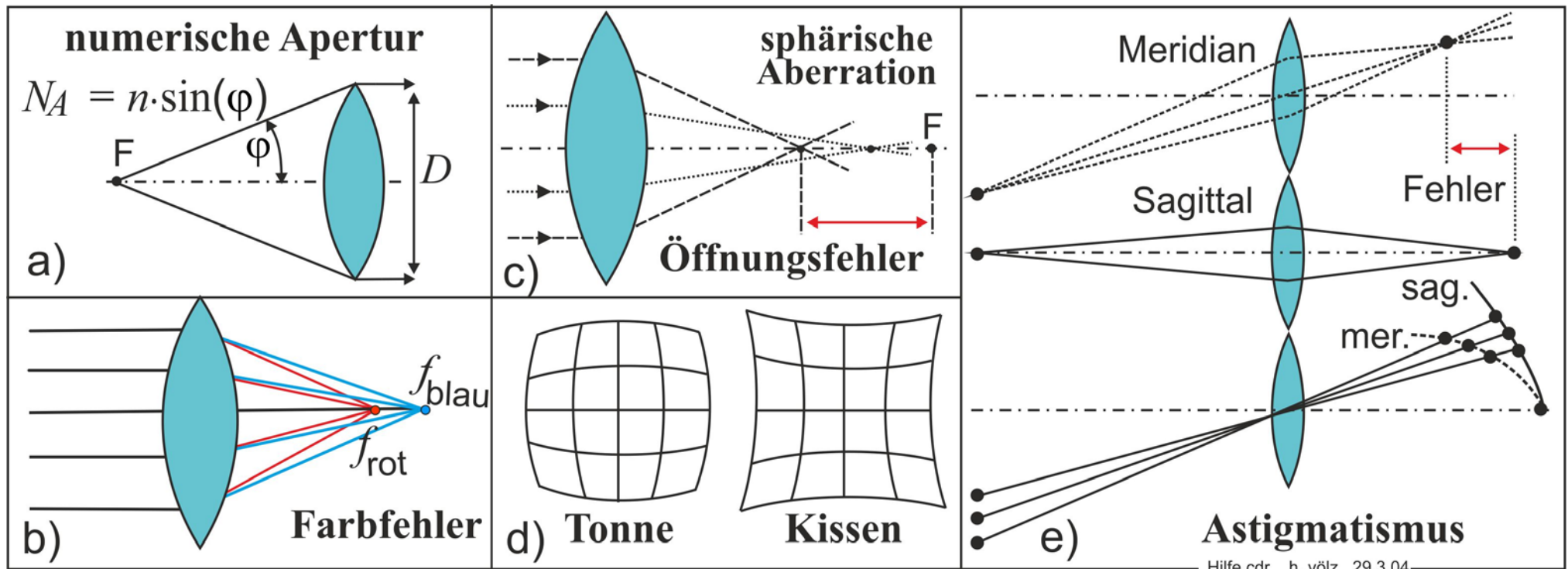
Mit der CCD entstanden auch vielfältige Arten von Pixel-, Zeile-Scanner für Hand-, Flachbettbetrieb usw.

Die verschiedenen benutzten Varianten stellt das Bild gegenüber.

Mit der Verlagerung einer kompletten Matrix ergibt sich eine extrem hohe Auflösung. Weitere Details in [2].

Es gibt noch weitere Scannerprinzipien, z. B. in der Medizin und beim Radar (s. d.).



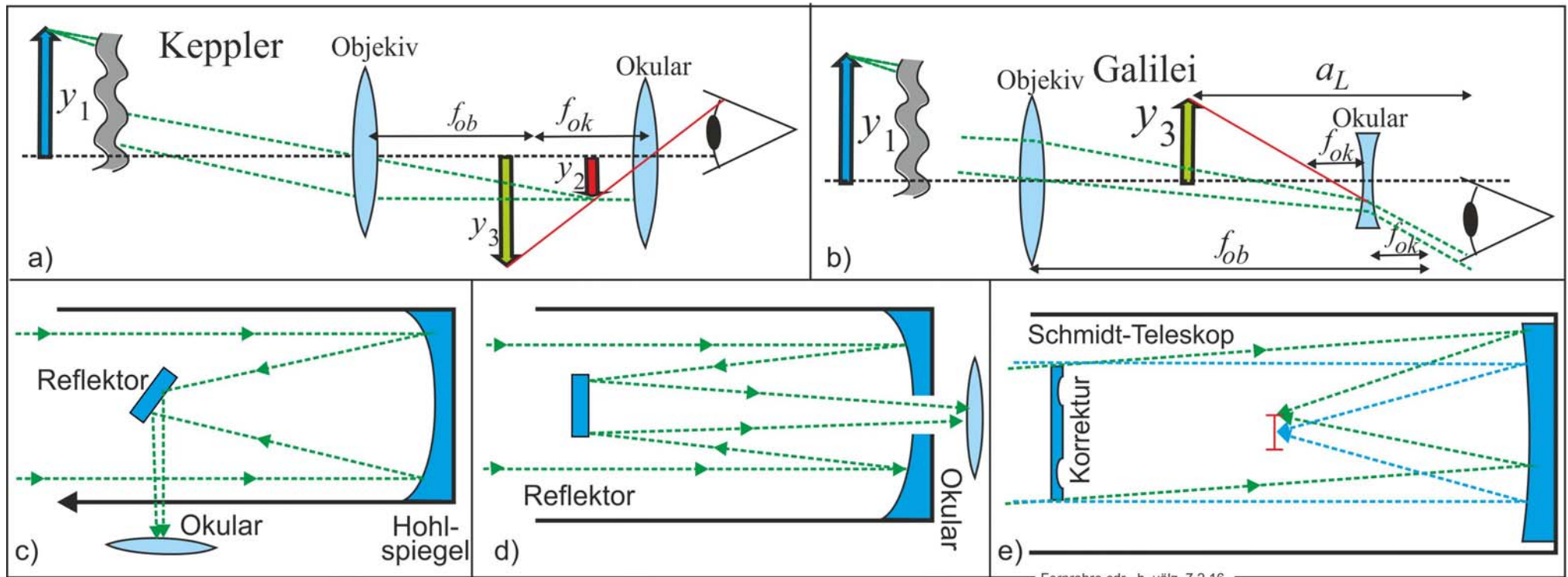


- a) Die numerische Apertur $N = D/f$ folgt aus dem Durchmesser D und der Brennweite f der Linse. Sie entspricht der Blende $B = f/D$ des Fotoapparates. Sie bestimmt vor allem die Lichtempfindlichkeit und z.T. Die Auflösung (optimale Blende!).
- b) bis e) zeigen die wichtigsten **Abbildungsfehler** bei Linsen. Sie treten teilweise ähnlich bei Spiegeln, extrem stark bei Zonen-Linsen (s. Holografie) auf. Alles gilt ähnlich für die Folgenden Fernrohre.

Fernrohre

Lupe und Mikroskop sind zur Betrachtung von Objekten geeignet, die für uns unmittelbar verfügbar sind. Doch es gibt viele Objekte, die dafür zu weit entfernt oder überhaupt nicht erreichbar sind. Das gilt z. B. im Theater oder in der Natur, wo wir auch Fernes möglichst gut sehen wollen. Bei diesen Ferngläsern werden die Varianten von **Newton** und **Galilei** unterschieden. Die Newton-Variante erzeugt ein **Zwischenbild** y_2 , das mit dem Okular vergrößert betrachtet wird. Dadurch entsteht aber ein seiten- und höhenverkehrtes Bild. Dieser Mangel wird meist durch ein **Doppelprisma**, zuweilen auch einer dritten **Zwischenlinse** behoben. Das Galilei-Fernglas verwendet eine **Zerstreuungslinse** als Okular und behebt so den Mangel. Da seine Qualität meist schlechter ist, wird es vor allem bei Operngläsern benutzt.

Extrem sind die Ansprüche in der **Astronomie**, daher entstand eine Vielzahl von Teleskop-Varianten. Die Kepler-Variante hat heute praktisch keine Bedeutung mehr. Sie verlangt sehr große Objektive langer Brennweite und daher sehr große und lange (20 m) Ausführungen. Durchgesetzt haben sich die **Hohlspiegel**varianten. Die beiden Hauptformen zeigt das folgende Bild. Es gibt Spiegelgrößen bis zu sehr vielen Metern Durchmesser. Bei Arecibo wird sogar ein ganzes Tal mit ca. 300 m Durchmesser als Spiegel genutzt. Weitere Details [4]



a), b) die beiden Fernrohrtypen; c) bis e) ausgewählte Teleskope:

c) Teleskop mit Ausblendung zur Seite, d) mit rückwärtiges Ausblendung,

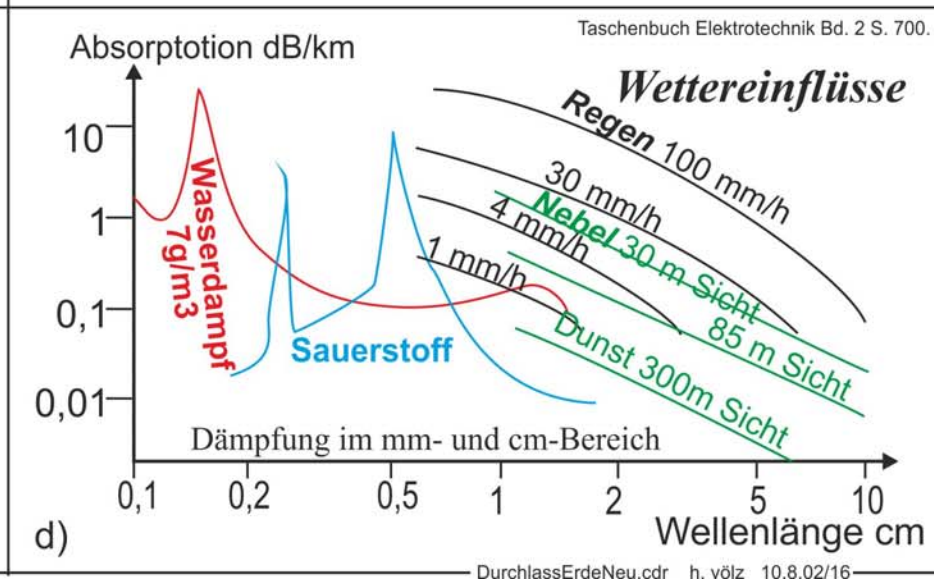
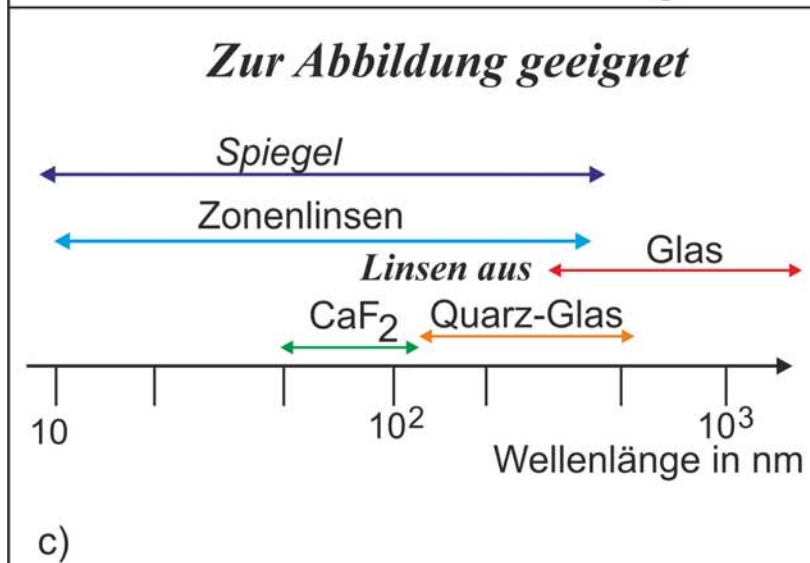
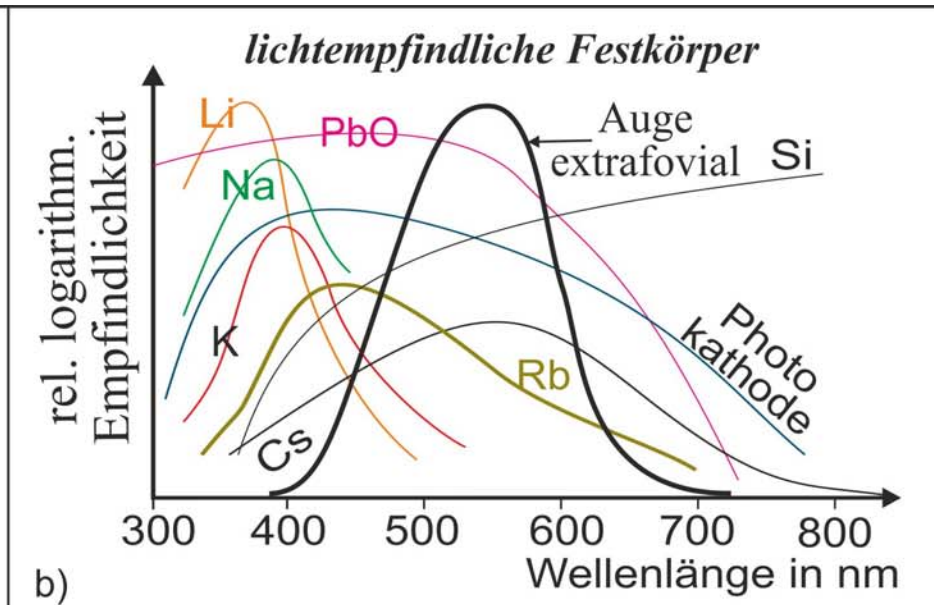
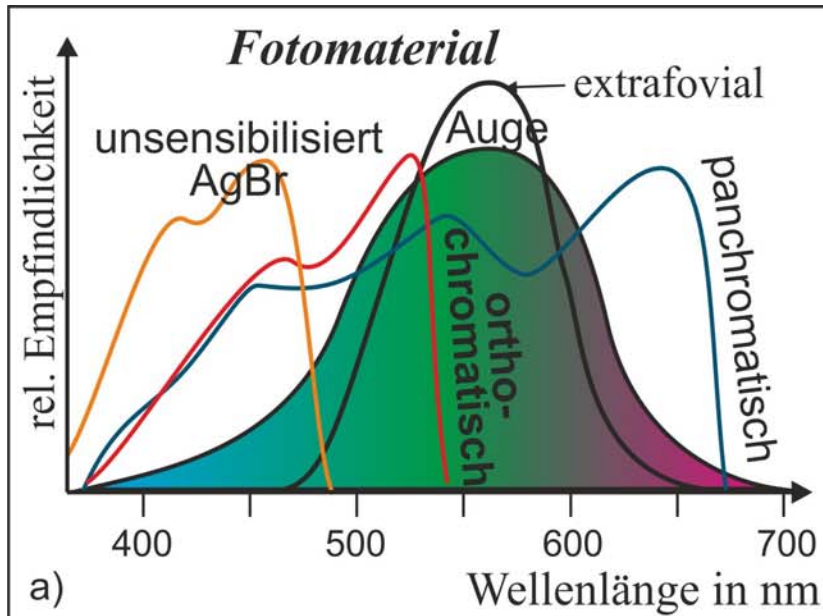
e) Schmidt-Teleskop mit Korrektur von Bernhard Schmidt um 1930:

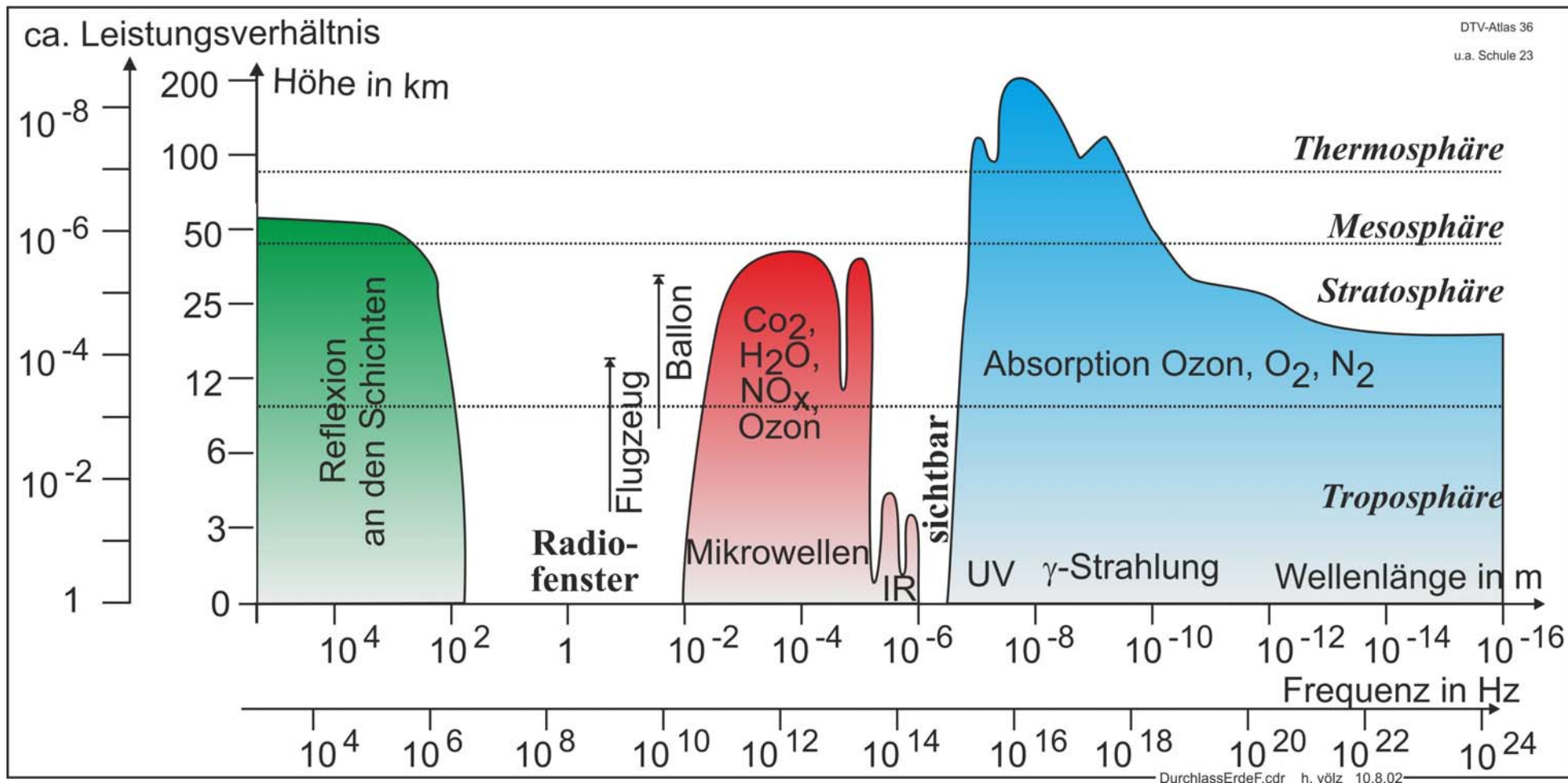
Hierbei kann statt des theoretisch notwendigen parabolischen Spiegel ein einfacher herzustellender, kugelförmiger Spiegel treten.

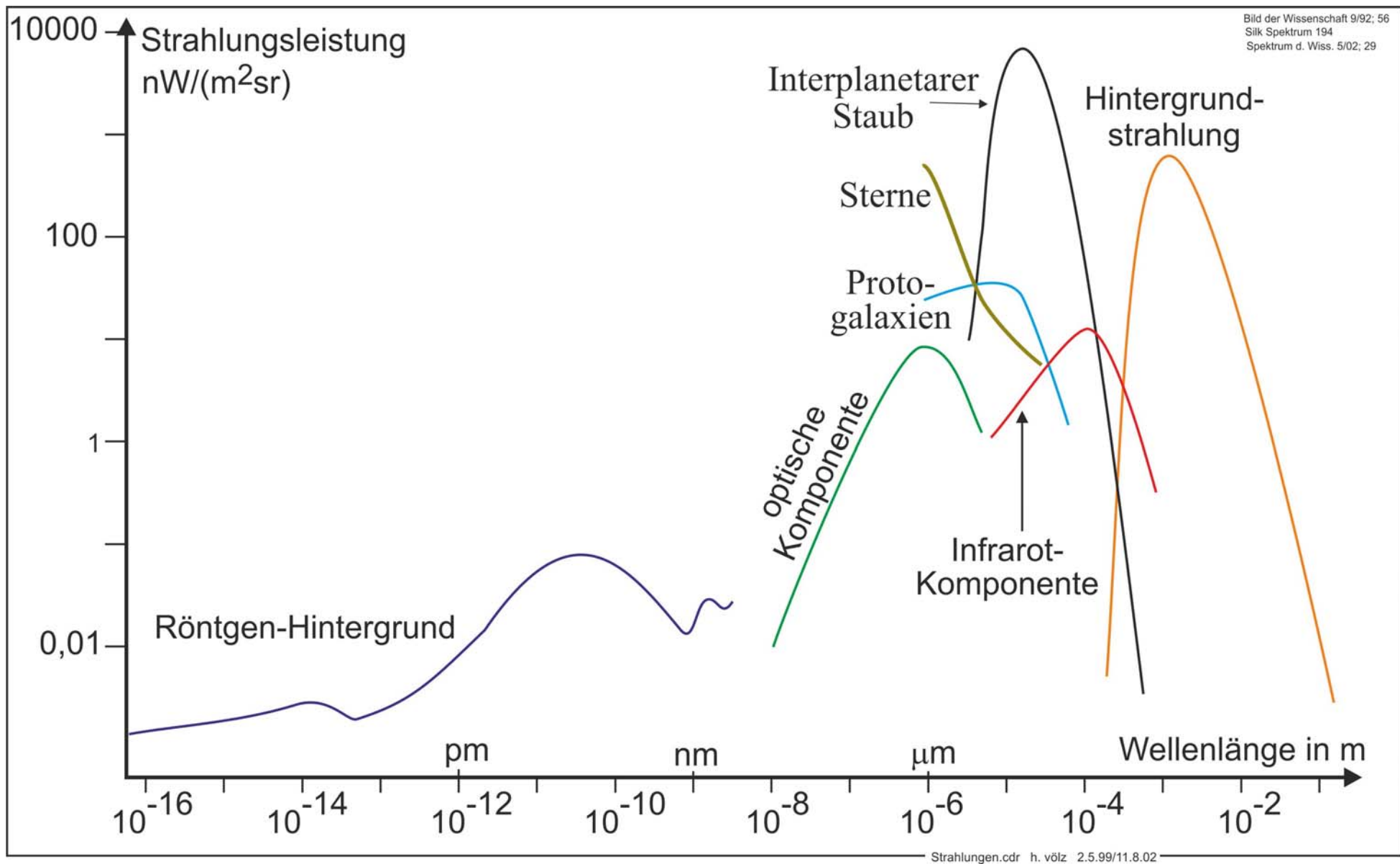
Grenzen der Techniken

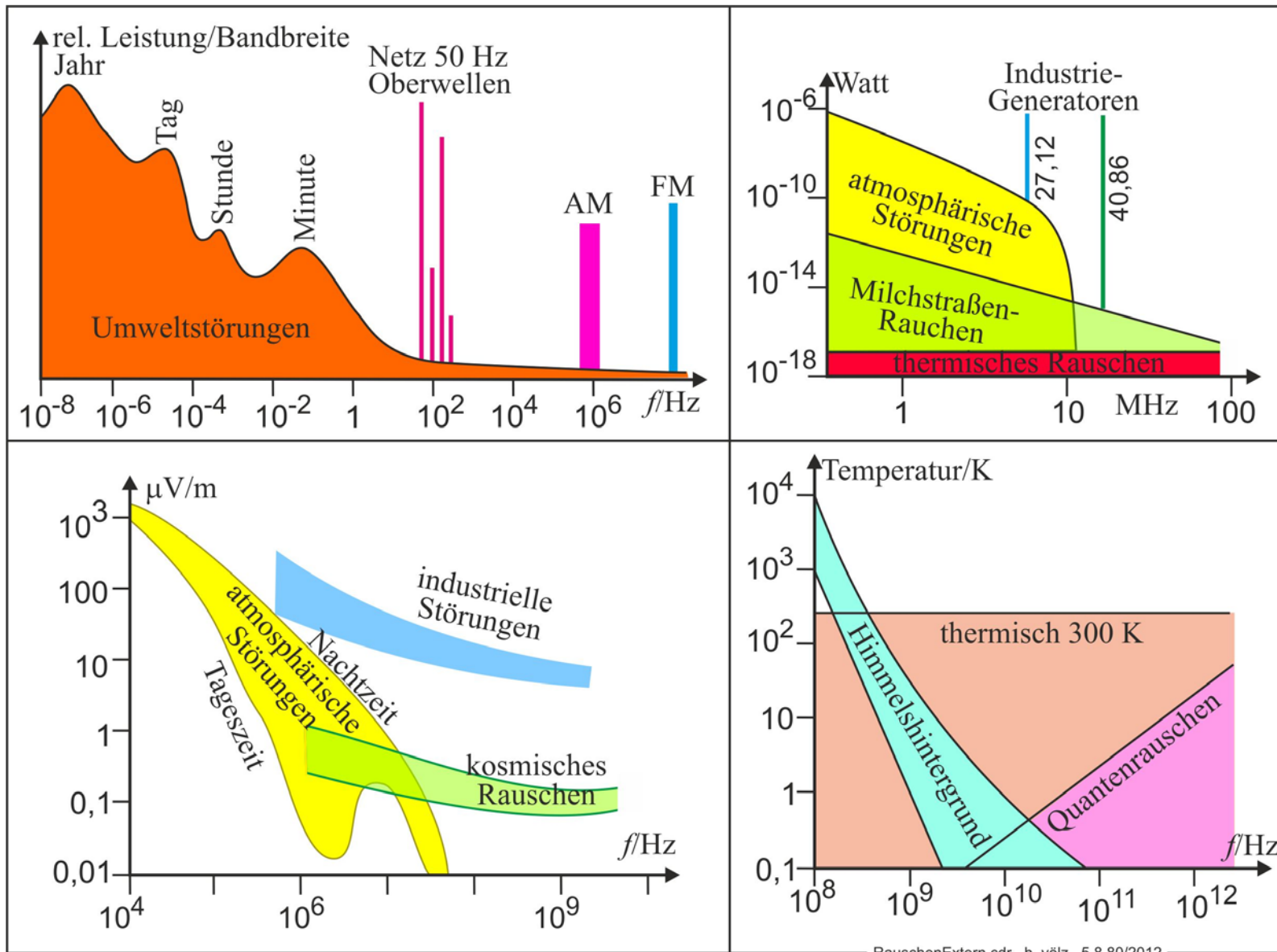
Die bisher behandelten optischen Systeme besitzen einige *typische Grenzen*:

- Primär werden die Systeme nur im „*sichtbaren*“ *Bereich* betrieben
Das verlangt bei geringen Helligkeiten (Astronomie) *extrafovieles Sehen*.
Eine Steigerung brachte der *Film* u. a. mit *Summierung für längere Zeit*.
Erweiterungen brachten auch *Photozellen, Festkörper, CCD usw.*
Beide (Speicher-) Methoden ermöglichen viele neue Techniken und werden später getrennt behandelt
Die Spektral-Grenzen sind irdische primär durch das *Sichtfenster* der Atmosphäre gegeben.
Erst die *Raumfahrt* machte fast alle Spektralbereiche zugänglich;
Dabei mussten aber die *Glaslinsen* teilweise durch *anderes Material* und *Techniken* ersetzt werden.
- Es werden fast nur *kugelförmige* Linsen und Spiegel benutzt (Ausnahme Schmidt-Teleskop).
dadurch treten u. a. *optische Verzerrungen, Farbfehler, Grenzen des Öffnungswinkels* usw. auf (s. u.).
- Sowohl das Mikroskop als auch Fernrohr wurde später durch *elektronische Varianten* ergänzt.
Besonders bedeutsam sind Varianten des *Elektronenmikroskops*.
Hierdurch wurde das Auflösungsvermögen über kürzere Wellenlänge (Materiewelle) gewaltig gesteigert
Mittels gewaltiger *Antennenkonstruktionen* wurde auch das *Radiofenster* nutzbar.
- Insbesondere bei der elektronischen Bearbeitung mussten *umfangreiche Störungen* berücksichtigt werden.
Dabei sind *physikalische Gesetze*, aber auch *irdische und kosmische Störungen* zu unterscheiden.

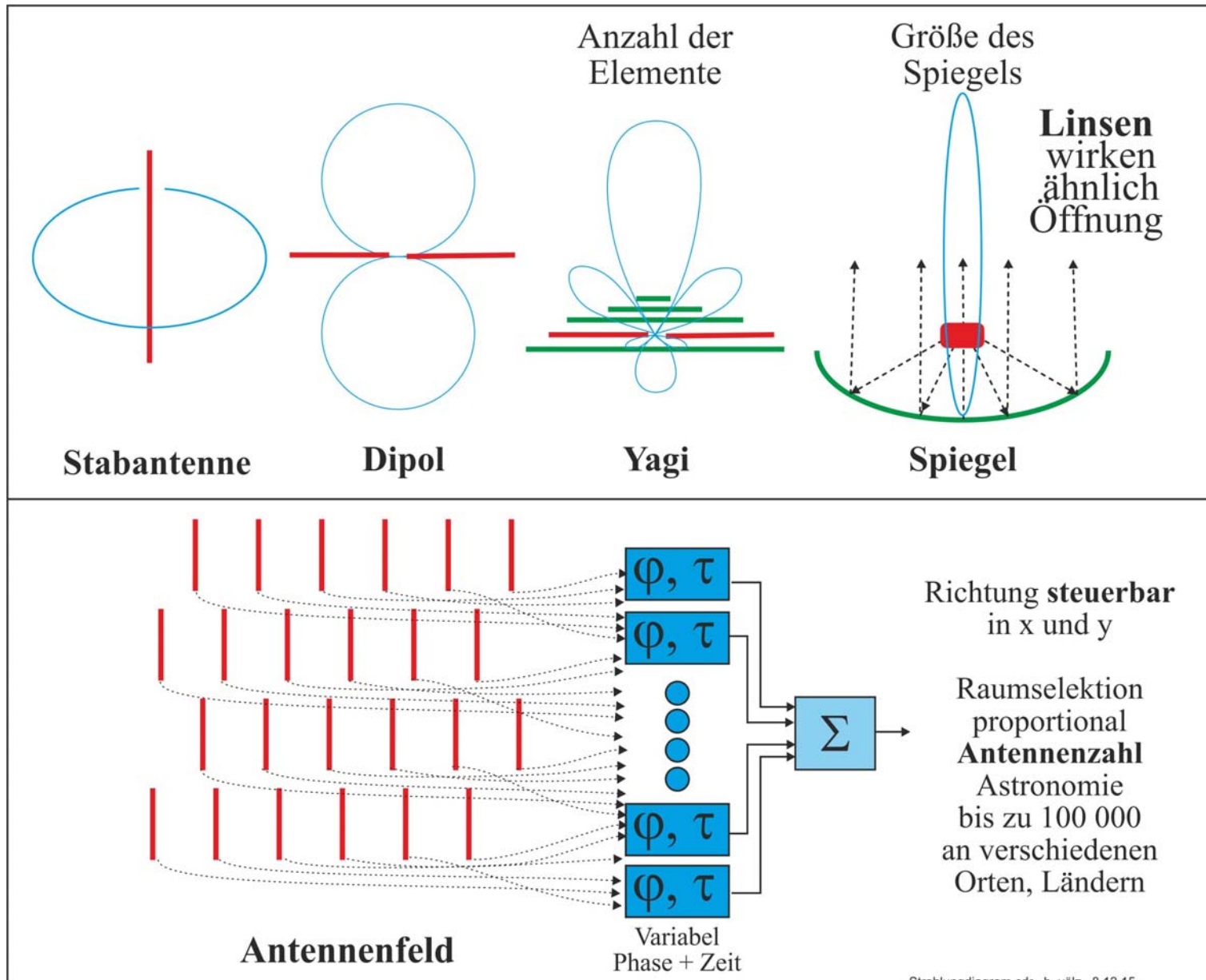








RauschenExtern.cdr h. vözl 5.8.80/2012



Infrarot- und Wärmekameras

Allgemein Thermografie

Für viele Zwecke ist es nützlich, den Infrarot-Bereich von 0,7 bis 1000 μm abzubilden.

Einfache **Nachtsichgeräte** arbeiten mit „üblichen“ CCD-, CMOS- Matrizen

Sie besitzen oft zusätzlichen IR-LED zur Beleuchtung der Objekte.

Durch ein IR-Filter sind vom üblichen Licht abgeschirmt und arbeiten bis maximal 1 μm .

Eigentliche Wärmekameras erfassen weitaus langwelligere Strahlung

Sie sind zuweilen gekühlt, besitzen meist einen Verschluss für das „Grundbild“ (Nullabgleich).

Sie müssen spezielle Sensoren benutzen:

InGaAs oder PbS (1 - 2 μm), InSb und Cadmium-Quecksilber-Tellurid (3 - 5 μm) und GaAs und Cadmium-Quecksilber-Tellurid sowie Mikro-Bolometer-Arrays aus Vanadiumoxid oder amorphes Si (8 bis 14 μm).

Bolometer erwärmen sich durch die Strahlung und ändern so ihren Widerstand.

Heute sind Arrays üblich, früher wurden auch spezielle Röhren benutzt.

Sie enthielten zusätzlich SEV (Sekundärelektronenverstärker) mit über 1000-facher Verstärkung.

Die Anzeige ist primär nur in **Graustufungen** (oder grün) möglich

Diese können wir jedoch schlecht abgestuft einordnen können.

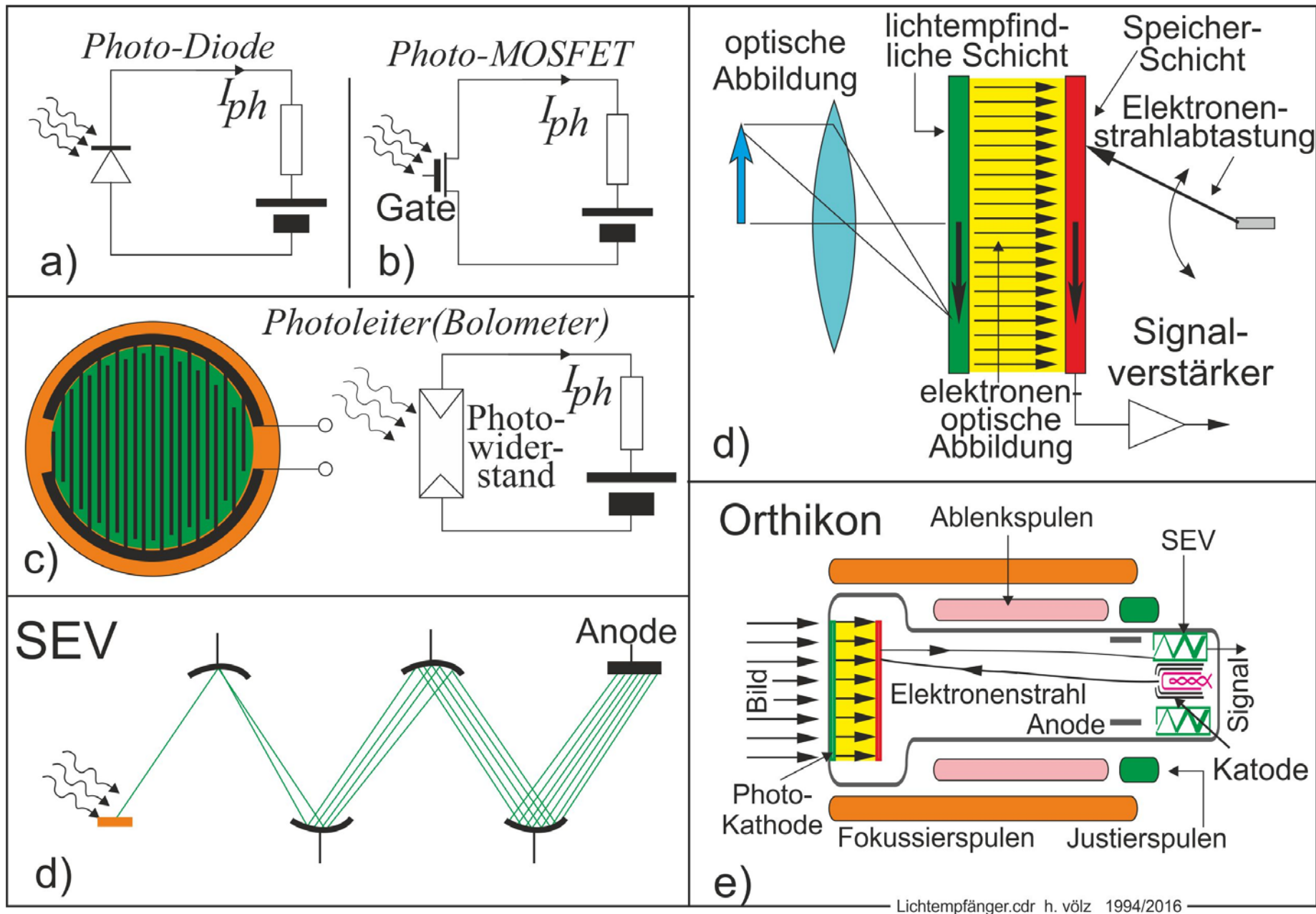
Deshalb werden sie meist in **Falschfarben** umgesetzt.

Die **Auflösung** der Geräte ist niedrig: 160×120 , 320×240 oder 384×288 .

Nachteilig für die Messungen ist es, dass der **Emissionsgrad** stark materialabhängig (0,012 - 0,98) ist

In der Medizin für Suchen von Durchblutungsstörungen, Oberflächentumore, Grenzauflösung etwa 0,1°C.

Weitere Details in [3].



Andere Verfahren

Es gibt eine viele Möglichkeiten zu vergrößerten Bilden in allen möglichen Spektralbereichen zu kommen. Sie werden auch dadurch ergänzt, dass auch an sich unsichtbare Eigenschaften sichtbar gemacht werden. die wichtigsten Prinzipien sind:

- **Röntgen-Strahlen** sind das wohl älteste Verfahren in den Körper, ins Material zu schauen.
- Nutzung von **Elektronen** = Elektronen- bzw. Ionenmikroskopie.
- Mittel sehr feiner gesteuerter Spitzen sind **Mikrosondenverfahren** entstanden.
- Der Einsatz von **Mikrowellen** (u. a. Radar) ermöglicht spezielle Absorptionen zu benutzen.
- Die erst kürzlich verfügbaren **THz-Schwingungen** ermöglichen u. a. Ganzkörperscanner
- Mittels **HF-Anregung und Magnetfelder** sind spezielle **Tomografen** entstanden (mittels Kernspin).
- Mittels **Ultraschall** wurde die **Sonografie** eingeführt.
- Auch die **Foto-Emission** von Elektronen ist nutzbar
- Schließlich kann die **Selbststrahlung** von Insbesondere IR für **Wärmebilder** genutzt werden.

Diese Verfahren werden in etwa dieser Reihenfolge behandelt. Später folgt Überblick zu **Bildgebenden Verfahren**.

Röntgentechnik

Röntgenstrahlung entsteht, wenn schnelle Elektronen auf Materie treffen.
In einem meist kleinen Brennfleck erfolgt dazu eine starke Abbremsung.
dabei entsteht sie mit einer Wellenlänge von 10^{-8} - 10^{-12} m (10 nm bis 1 pm).

Bis 1925 wurde die Strahlung mittels einer Gasentladung bei 0,05 bis 0,5 bar Gasdruck erzeugt a).
Dabei sausen positive Ionen auf die Katode und die Röntgenstrahlung tritt durch eine Bohrung aus.

Heute werden stark gebündelte Elektronenstrahlen auf eine rotierende Wolfram-Anode gestrahlt b).
Die Betriebsspannungen reichen von 50 bis 400 kV.

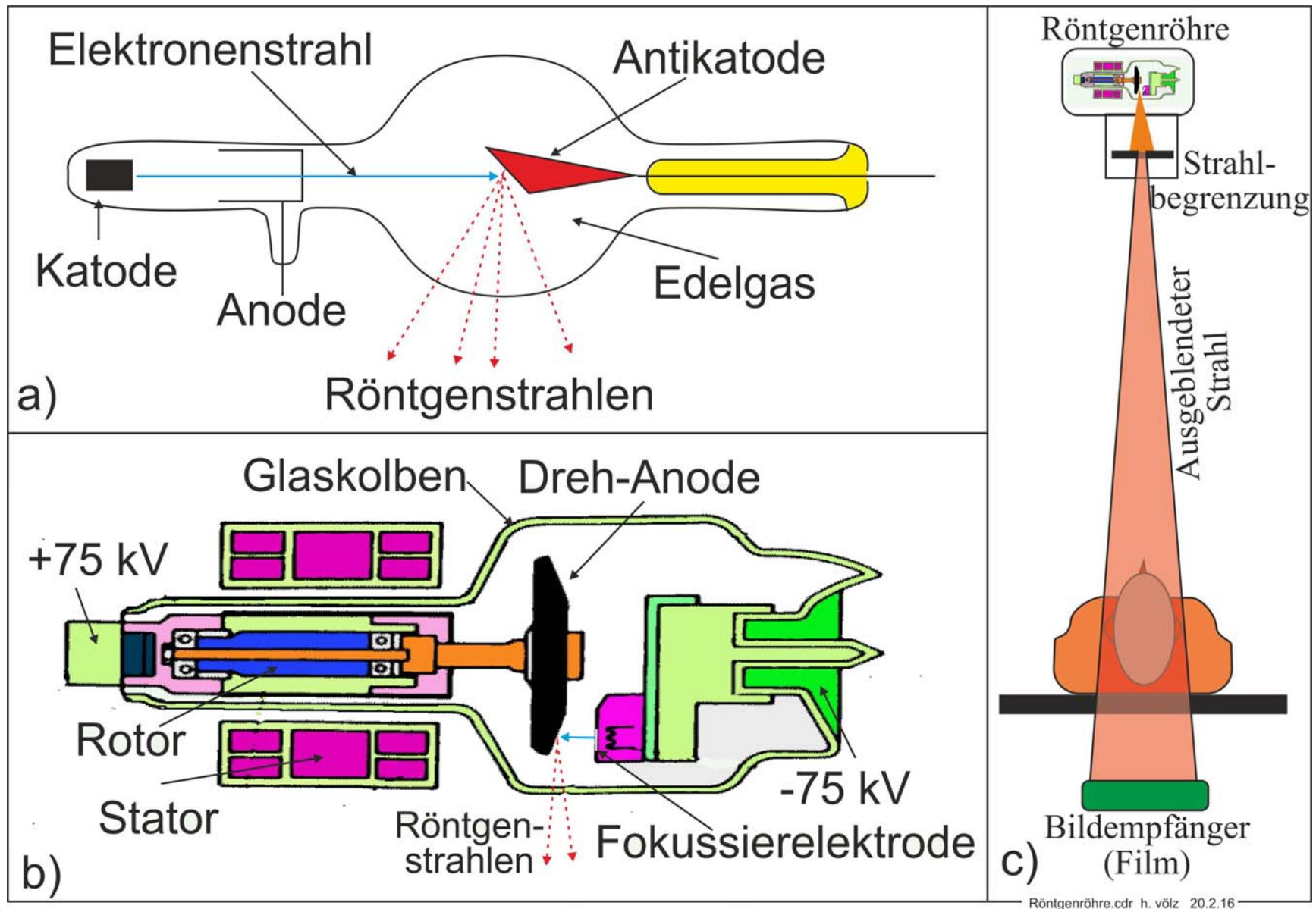
Die Anode erhitzt sich am Brennfleck (0,1 - 1,5 mm) auf 2500 °C (deshalb Rotationskühlung).

Die Röntgenstrahlung tritt vorwiegend durch ein Beryllium-Fenster, selten durch Glas aus.

Von der verbrauchten Energie wird nur etwa 1% in Röntgenstrahlung umgesetzt.

Röntgenstrahlung breitet sich immer geradlinig aus, und ist nicht ablenkbar.

Daher erfolgen die Abbildungen im Durchlicht c).



Anwendung von Elektronen

Durch die Nutzung von Elektronenstrahlen kann die Auflösung bzgl. Mikroskopen deutlich gesteigert werden. Entscheidend ist hierbei Geschwindigkeit v der Elektronen. Mit der Beschleunigungsspannung U gilt dabei

$$v(\text{cm} / \text{s}) = \sqrt{\frac{2 \cdot e_0 \cdot U}{m_0}} \approx 5,93 \cdot 10^7 \sqrt{U / \text{Volt}}.$$

m_0 = Elektronenmasse und e_0 = Elektronenladung.

Für die dabei benutzten Materiewellen gilt mit der Planck-Konstante h für die Wellenlänge $\lambda = h/m_0 v$

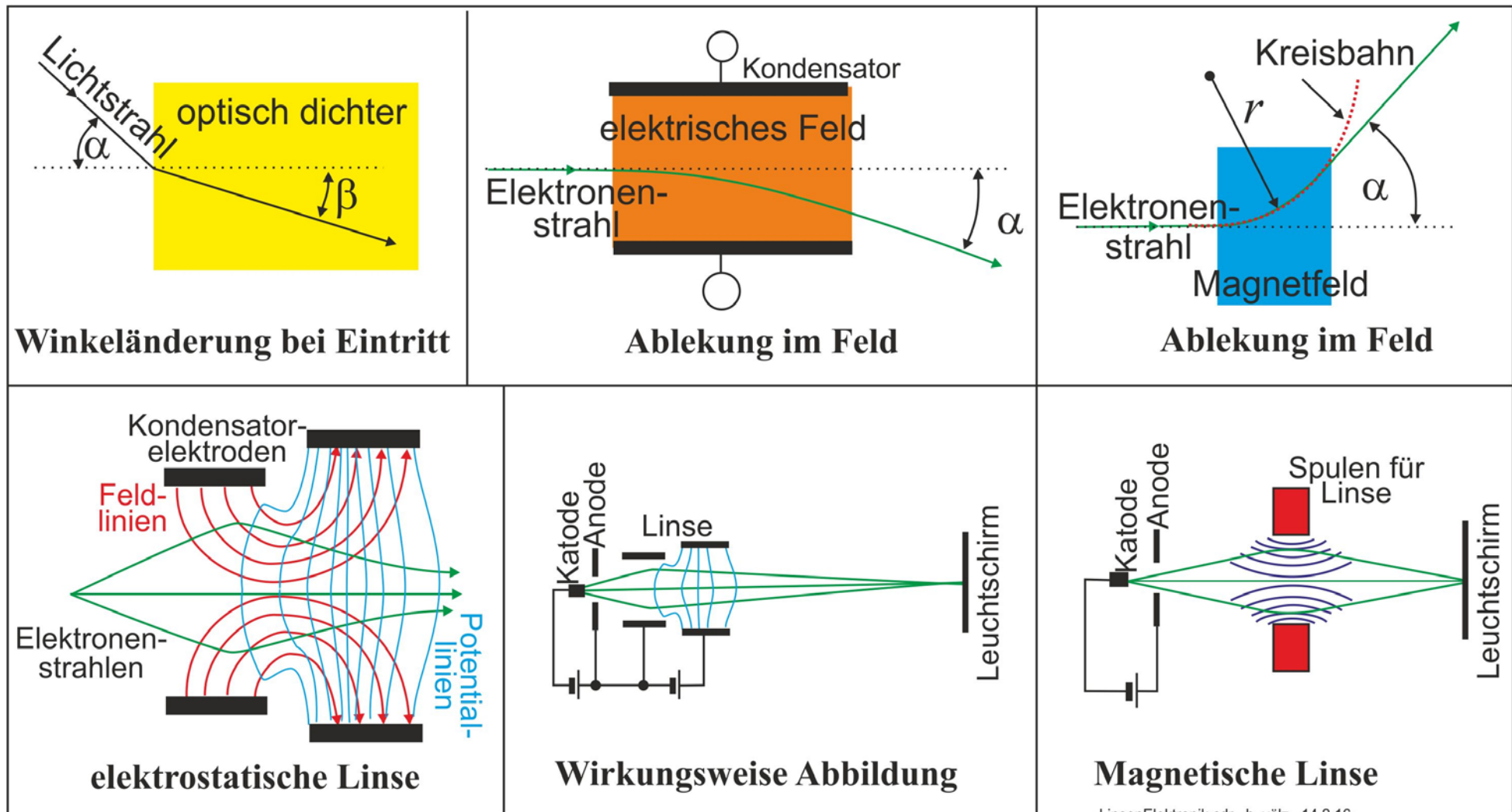
Mit der Lichtgeschwindigkeit c gilt weiter [Elektronik 381 ff. + 678 ff.]:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{h}{m_0} 5,93 \cdot 10^7 \sqrt{\frac{U}{V}}.$$

Für die Ablenkung der Elektronenstrahlen gelten ähnliche Zusammenhänge wie beim Licht.

Sie können dafür magnetisch oder elektrisch abgelenkt werden. Dies zeigen die folgenden Bilder.

So lassen sich aus magnetischen oder elektrischen Feldern auch „Linsen“ gestalten.



LinsenElektronik.cdr h. vözl 14.2.16

Mit den beiden Linsenarten lassen sich vielfältige Konstruktionen für Elektronenmikroskope gestalten.

Erzeugung frei beweglicher Elektronen

Für Elektronenmikroskope müssen frei bewegliche Elektronen in ein Gefäß mit Vakuum oder Gas gebracht werden. Sie müssen dazu mit Hilfe einer Energie die Barriere des Festkörpers überwinden.

Hierzu sind vier Prinzipien bekannt:

- **Fotoeffekt:** Die Energie der Lichtquanten wird auf die Leitungselektronen übertragen.
- **Feldeffekt:** An der Oberfläche muss dazu eine elektrische Feldstärke $\geq 10^7$ V/cm auftreten. Anwendung beim *Feldefeffektmikroskop*
- **Sekundärelektronen** werden durch aufschlagende Primärelektronen herausgeschlagen (Stoß-Effekte)
- **Thermoeffekt:** Die Bewegung der Elektronen im Leiter wird entsprechend stark beschleunigt. (Glühkatode für fast alle *Elektronenmikroskope*)

2 Mikroskop-Prinzipien

Beim „**üblichen**“ **Mikroskop** können die thermisch erzeugten freien Elektronen definiert beschleunigt und abgelenkt werden.

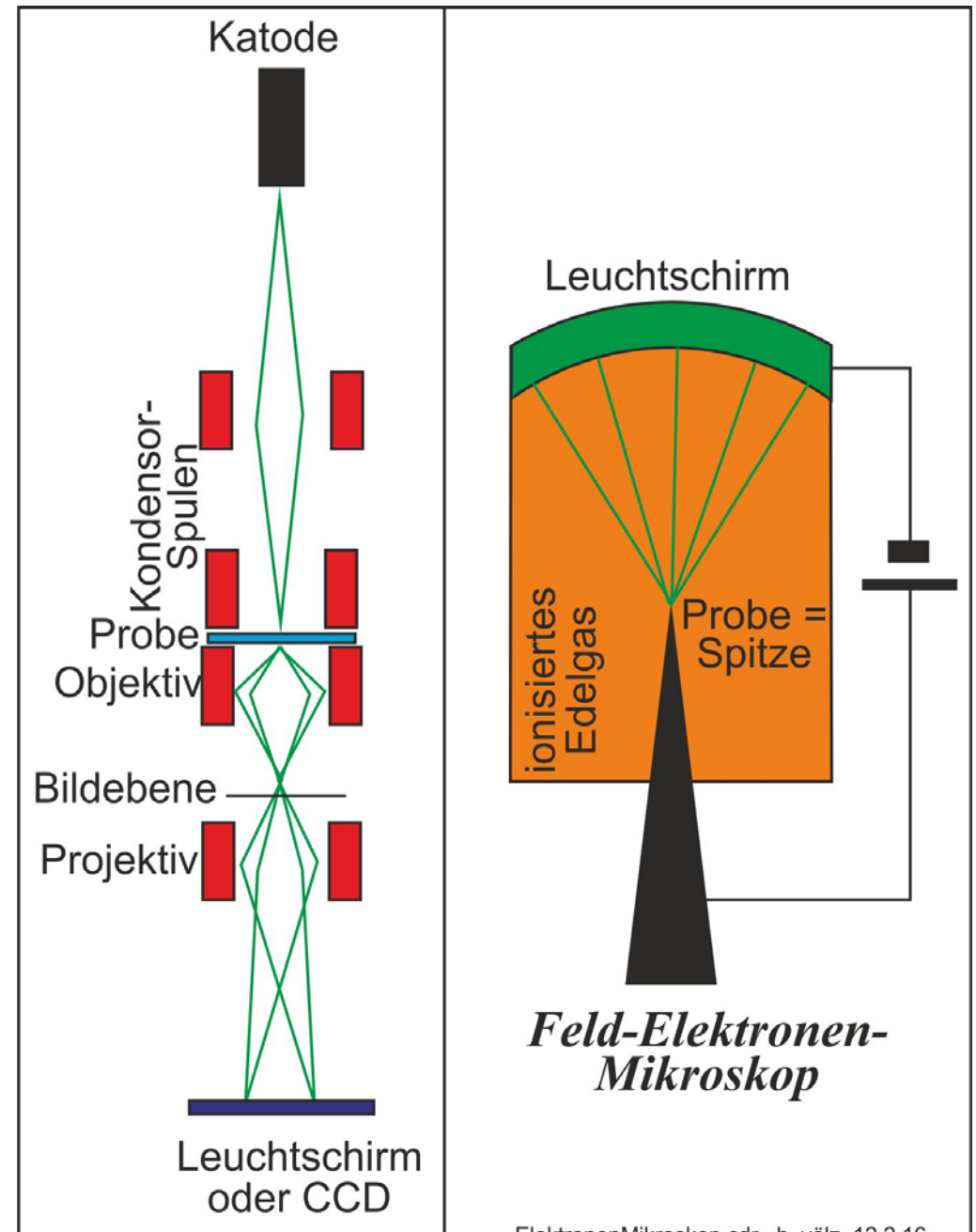
So entsteht eine Analogie zum Lichtmikroskop. Das wird anschließend im Detail behandelt.

Die hohen Feldstärken für das **Feld-Elektronen-Mikroskop** ($\approx$ Feldionenmikroskop = FIM) entstehen an einer sehr feinen Spitze.

Die dort frei werdenden Elektronen breiten sich entsprechend den Feldlinien (geradlinig) aus.

Auf einem entsprechend (kugelförmig) gestalteten Bildschirm entsteht dadurch (automatisch) ein stark vergrößertes Abbild der Spitze.

Extrem kleine Proben auf dieser Spitze werden sichtbar. Insbesondere können die Molekülstrukturen oder sogar einzelne Moleküle bzw. Atome sein (Bild rechts).



ElektronenMikroskop.cdr h. vözl 12.2.16

Elektronenmikroskope

Gemäß der Tabelle gibt es 2×2 Varianten, das Feldeffektmikroskop ist nur zum Vergleich eingefügt.

Art der **Bilderzeugung**

1. **Ruhebildmikroskope** bestrahlen einen Objektbereich mit einem feststehenden, breiten Elektronenstrahl.
2. **Rasterelektronenmikroskope** (REM, engl. scanning electron microscope, SEM) erzeugen einen feinen Elektronenstrahl, der **zeilenweise** über den zu untersuchenden rechteckigen Objektbereich geführt wird

Geometrie der Anordnung.

1. Es wird in **Transmission** gearbeitet (vorwiegend TEM), meist nach der Ruhebildmethode, seltener Raster-Transmissionselektronenmikroskop (STEM, englisch „scanning transmission electron microscopy/microscope“), verlangt sehr dünnes Material.
2. Ohne feststehende Bezeichnung. Meist werden Sekundär-, seltener Rückstreuielektronen (auch Fluoreszenz oder andere Sekundäreffekte) benutzt. Üblich sind Rasterverfahren in Durchstrahlung oder Reflexion.

	klassisches Prinzip		Feldeffekt
	<i>Flächiges (Ruhe-) Bild</i>	<i>Raster-Technik</i>	
Transmission	TEM	STEM	nicht möglich
Rückstreuung	Reflexionsmikroskop	REM (engl. SEM)	Elektroenen-Emission

Das **TEM** (Transmissionselektronenmikroskop) wurde früher auch **Übermikroskop** bezeichnet

Bis zu 500 000-fache Vergrößerungen und Auflösungen bis 0,1 nm möglich (Lichtmikroskop ≈ 200 nm)

Die nutzbare Auflösung etwa 50mal geringer als gemäß der Elektronenwellenlänge (100 keV $\approx 0,0037$ nm)

Rastersondenmikroskope

engl. scanning probe microscopy = SPM

Oberflächen werden seit langen bezüglich ihrer Rauheit mechanisch abgetastet.

Hieraus lässt sich vielleicht der Übergang zu den Sondenmikroskopen mit atomarem Maßstab ableiten.

Für sie ist eine extrem dünne leitende Spitze (nm) und ein fein steuerbarer XY-Tisch erforderlich.

Die Spitze besteht aus Wolfram, Platinlegierungen oder Gold, wird durch elektrolytisches Ätzen hergestellt.

Sie wird im nm-Abstand zeilenweise (mittels Piezoelementen) gerastert über die Oberfläche der Probe geführt

So entsteht das **Rastertunnelmikroskop** (RTM, englisch STM scanning tunneling microscopy).

Es wurde hauptsächlich von Binnig und Rohrer entwickelt.

Es wird der Tunneleffekt genutzt, dessen Größe etwa exponentiell mit der Entfernung abnimmt.

Seine messbare Größe (typisch 1 pA bis 10 nA) reagiert sehr stark bereits auf 1/100 Änderung.

Die Tunnelspannung liegt bei wenigen mV bis zu einigen V.

Es kann in **zwei Modi** gearbeitet werden

1. Der Tunnelstrom wird auf konstant geregelt. Damit folgt die Spitze dem „Höhenprofil“.
2. Die Spitzenhöhe wird konstant (typisch 0,5 – 1 nm) gehalten, es ändert sich Tunnelstrom.

Durch den Vergleich der Bilder kann genauer die Topographie und Elektronenstruktur bestimmt werden.

Probleme entstehen durch externen Vibrationen, und dem Kriechen (Hysterese) piezoelektrischer Materialien.

Sowie thermischer Drift, statische Aufladungen und z.T. die Auswertungssoftware.

Das Rauschen des Tunnelstroms begrenzt die Genauigkeit der Höhenbestimmung.

Rasterkraftmikroskop

Aus dem RTM ist das **atomare Kraftmikroskop** auch **Atomkraftmikroskop** hervorgegangen.

Englisch *atomic/scanning force microscope*; AFM bzw. SFM, seltener RKM)

Hierbei biegt sich die Blattfeder positionsabhängig,

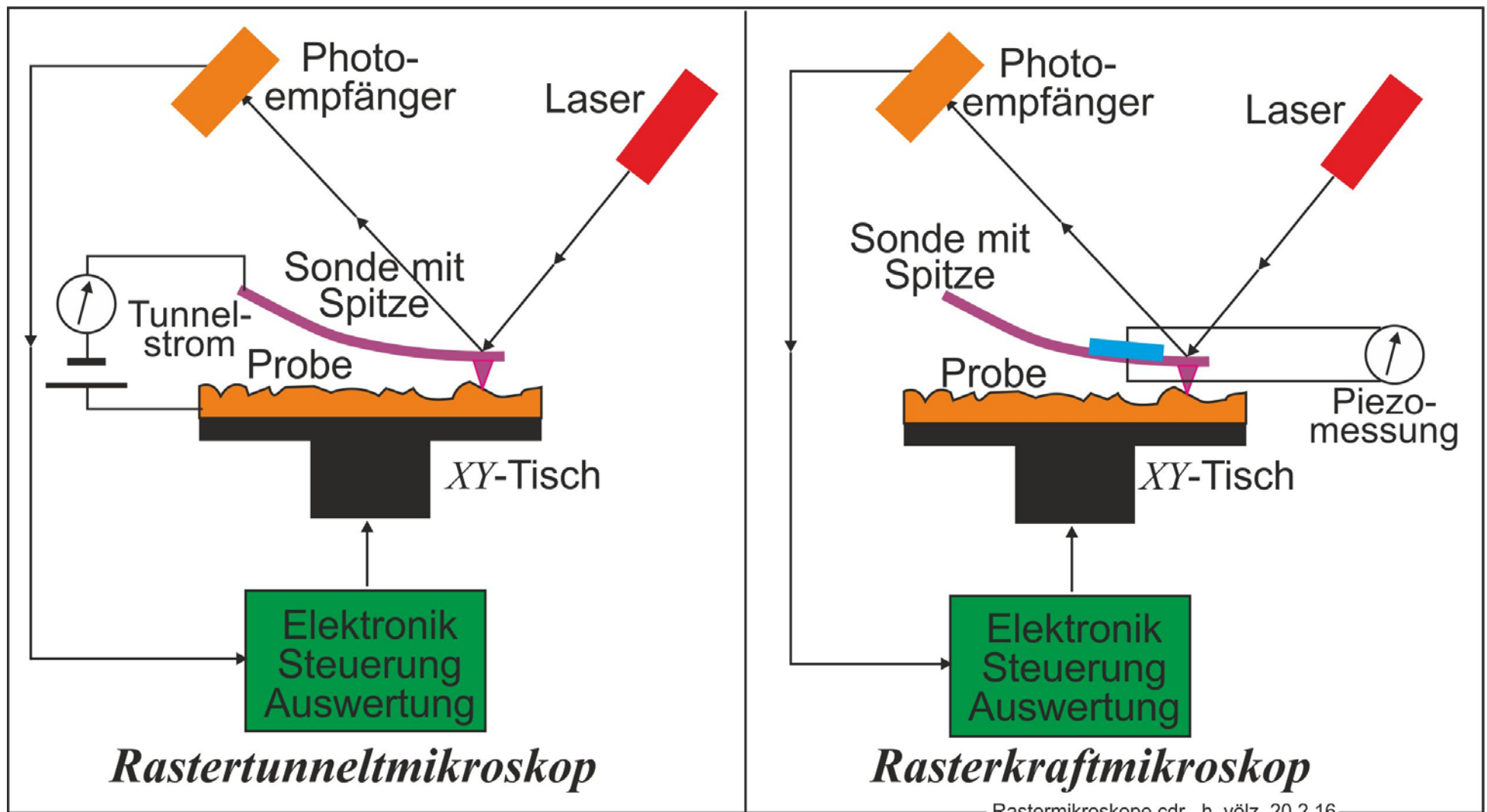
was optisch (interferometrisch) oder kapazitiv gemessen wird.

Die Ursache sind hier *atomare Kräfte*: weit reichende anziehende Van-der-Waals- und Kapillarkräften, wenig weit reichend starke abstoßende Kräfte sowie quantenmechanisch begründete Abstoßungen durch das Pauli-Prinzip und die Coulomb-Abstoßung der Kernladung, (Elektronenhüllen).

Der Krümmungsradius der Spitzen beträgt 10 bis 20 nm, es werden Auflösungen von 0,1 bis 10 nm erreicht.

die Scanbereiche liegen bei $150\text{ }\mu\text{m} \times 150\text{ }\mu\text{m}$, die Scan-Geschwindigkeit bei 0,5 und 10 Zeilen pro Sekunde.

So ergibt sich eine typische Messdauer von 1 bis 20 Minuten pro Bild.



Anwendung als Speicher

Bereits 1994 wurde überlegt, die hohe Auflösung der Rastermikroskopie zur Informationsspeicherung zu nutzen. Erste Versuche machten u.a. Matsushita, IBM und Hewlett-Packard.

Intensiv versucht es seitdem das IBM Almaden Research Center (San Jose) unter Leitung von BINNIG.

1998 gab es ein erstes Labormuster. 2002 wurden bereits $64 \times 64 = 4096$ Spitzen parallel verwendet (Bild).

So entstand der Name **Milliped** (Tausendfüßler).

Die Spitzen befinden sich an leicht biegsamen, V-förmigen Federzungen (c und d),

Sie werden Balken oder Cantilever (*englisch* frei schwebend) genannt.

Das verschiebbare Substrat von etwa $6 \times 6 \text{ mm}^2$ ermöglicht eine Speicherdichte von TBit/inch².

Als Speichermedium dient eine 20 nm dünne Polymerschicht.

Zum Aufzeichnen wird die Spitze durch Stromwärme für etwa 1 μs auf etwa 200 °C erhitzt.

Dabei entsteht eine Vertiefung, die einer 1 entspricht. Sie besitzt einen Durchmesser zwischen 10 und 50 nm.

Für die Wiedergabe ist ein thermischer (Piezo-) Sensor in der Nähe der Spitze angebracht.

Die Feder wird dabei auf ca. 100 °C erhitzt. Gleitet sie über eine 1, so sinkt die Spitze in das Loch.

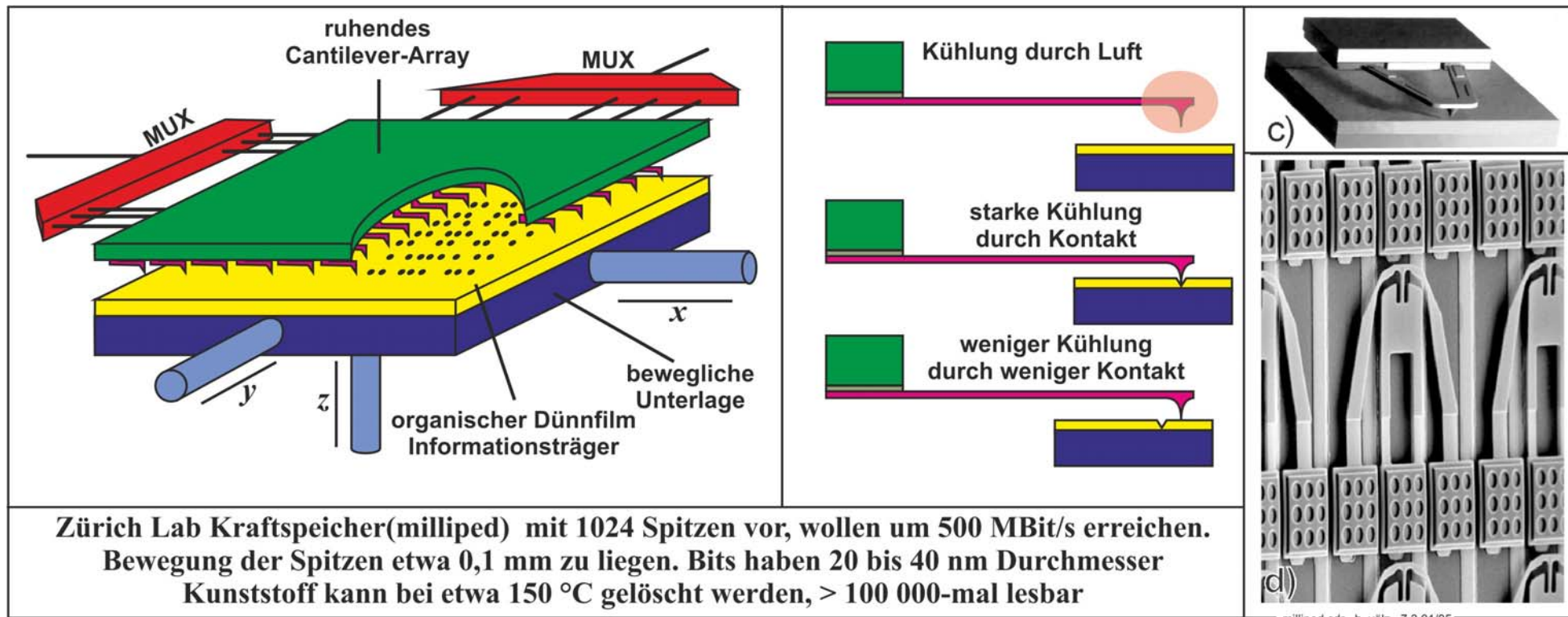
Dadurch kommt der Sensor der kalten Kunststoffschicht deutlich näher als bei einer 0 und kühlt sich stärker ab.

Das Löschen konnte zunächst nur global erfolgen (Kunststoffschicht wird auf etwa 150 °C erhitzt)

Es glättet die Oberfläche so, dass alle Löcher verschwunden sind.

Die hohe Parallelität ermöglicht Datenraten von mehreren MBit/s

Zur Erinnerung an die Lochkartenerfindung durch IBM heißt diese Technik auch als Mikro-Lochkarte.



Stand etwa 2005

Vielfalt bildgebender Verfahren

Begriff und Inhalte entstanden Ende der 1970er Jahre und haben eine große Vielfalt und Anwendungsbreite erreicht.

Sie betreffen **Strukturen und Eigenschaften** an **Oberflächen** und **im Innern** von stofflichen Gebilden (Material). Leider dürfte eine vollständige Erfassung kaum möglich sein.

Die Untersuchungs-, Mess-**Methoden** erfolgen vor allem mittels **Einwirken** von **Quellen** wie:

- **Elektromagnetischen Wellen**: Rundfunk-, Fernseh-Frequenzen, Mikrowellen (Radar), THz-Wellen, Wärme-Strahlung, IR, **Licht**, UV und hochenergetische Strahlungen (Röntgen).
- **(Ionisierende) Strahlung**: Teilchen, α - (He), β - (Elektronen), γ - und, Neutronen-Strahlung.
- **Schall**, auch je nach Frequenz als Infra-, Ultra- und Hyperschall.
- (Elektrische und magnetische) **Felder**.
- **Gravitation**, nur in der Astronomie vor allem mittels Rotationsgeschwindigkeiten, künftig vielleicht auch Wellen.

Methoden bildgebender Verfahren

Die *Einwirkungen* treffen auf das Material, wobei verschiedene Effekte [5] auftreten können, z. B.:

- **Ablenkung** $\approx$ Refraktion, Brechung.
- **Absorption**: Verluste beim Durchdringen des Materials, Dissipation, Extinktion.
- **Anziehung, Abstoßung** von Ladungen und Magnetfeldern.
- **Diffraktion**: Beugung an Kanten.
- **Diffusion**: Streuung an Elementarteilchen, Atomen, Molekülen oder Feinstaub.
- **Dispersion**: Einfluss verschiedener Wellenlängen, Impulsverformung.
- **Einfärben** bzw. **Kontrastmittel**, auch magnetische Flüssigkeit.
- **Emission**: spontane (also zufällige) oder stimulierte (angeregte) Erzeugung.
- **Fluoreszenz**: verzögertes Ausstrahlen elektromagnetischer Wellen (Licht).
- **Frequenz-, Impulsfilter** bevorzugt in den elektronischen Einrichtungen.
- **Interferenz**: gegenseitigen Stärkung und Schwächung von Wellenzügen.
- **Polarisation**, linear, zirkular oder elliptisch.
- **Reflexion**: Spiegelung und Echo, (Radar).
- **Szintillation**: spontanes Auftreten von Licht usw.

Zusätzlich werden dabei benutzt:

- **Vergrößern**: Lupe, Mikroskop, (Raster-, Tunnel-) Elektronenmikroskop.
- **Verkleinern**: für große Objekte, wie Erde, Weltall; erfolgt indirekt mit Fernrohr, Teleskop und Satellitenbeobachtung.
- **Veränderungen** von physikalischen, chemischen usw. **Eigenschaften**.

Was wird wie untersucht

Die untersuchten Objekte / das Material besitzen eine **Form / Gestalt** sowie äußere und innere **Oberflächen**.

Untersucht werden die **Dichte** und/oder **Verteilung** von Eigenschaften des Materials.

Ausgewählt werden irgendwie messbare **physikalische, chemische, biologische Kenngrößen**.

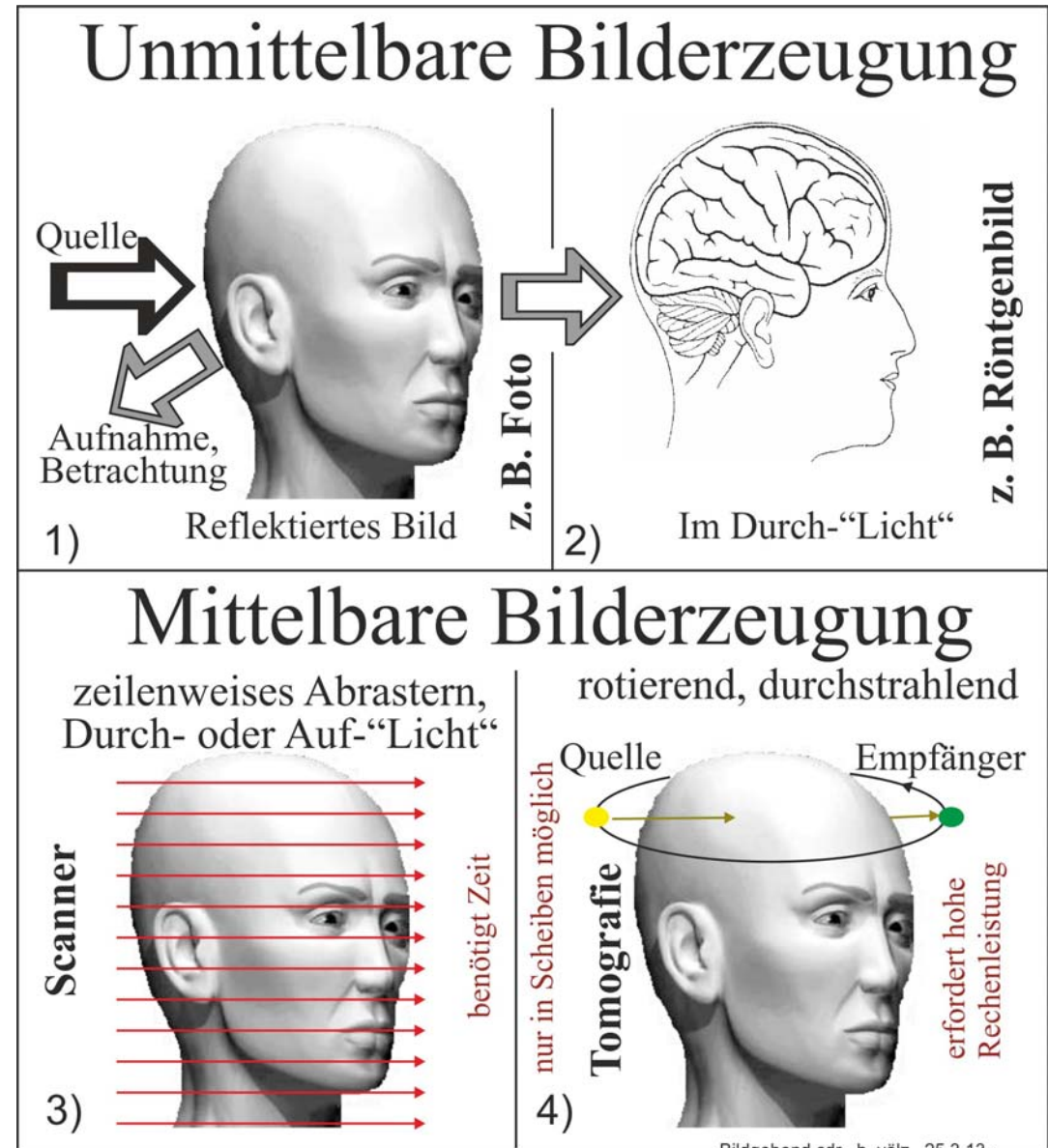
Eine weitgehend systematische und umfassende Zusammenstellung hierzu enthält [6] und bzgl. der Effekte [5].

Die **Messungen betreffen** Absorption, Beleuchtung, Bewegung von Material, Dehnung, Dopplereffekt, Druck, Elektronen, Fluss (magnetisch und Teilchen), Geschwindigkeit, Intensität, Ionen, Kräfte, Kristallstruktur, Ladung, Laufzeit, Leitfähigkeit, Licht, Magnetisierung, Materialdichte und -zusammensetzung, Phasenverschiebung (Radarecho), Reflexion (Licht, Teilchen), Spannung (mechanisch, elektrisch), Stoffwechsel, Strahlung (Licht, Teilchen), Temperatur, Wellenlänge, Wetter, (stationär, per Flugzeug) usw. (s. o.).

Für die so mögliche **Bilderzeugung** sind gemäß dem folgenden Bild vier Hauptvarianten zu unterscheiden:

Es lassen sich mehrere Verfahren vorteilhaft kombinieren. z.B. PET-CT oder SPECT-CT.

1. Die Quelle **beleuchtet** das **ganze Objekt**, die reflektierten Werte werden wie bei einer **Fotografie** zusammenhängend aufgenommen.
 2. Die Quelle beleuchtet das ganze Objekt, die hindurch gelangenden Werte werden wie bei **Röntgenaufnahmen, Schattenbildern** oder per **Anregung** zusammenhängend aufgenommen.
 3. Mit einem feinen Quellenstrahl wird das Objekt (meist zeilenweise) **abgerastert**. Die reflektierten bzw. hindurch tretenden Signale werden danach zum **Gesamtbild zusammengesetzt**. Das ist u. a. beim **Scanner** oder Fernsehen der Fall.
 4. Das Objekt wird in einer **schmalen Scheibe** mit einem mehr oder weniger gebündelten **Quellenstrahl** meist **kreisförmig abgescannt**. Die reflektierten bzw. hindurch gelassenen Signale werden mit einem leistungsfähigen **Rechner** auf komplizierte Weise zu einem Bild der Scheibe umgesetzt. Das erfolgt bei **Tomografien**.
- Die **Reflexion** usw. kann auch von **Innern** des Objekts kommen
 - Die Reflexion kann auch mit den hindurch tretenden Signalen kombiniert werden.
 - Bei 4. können mehrere Scheiben zu einen **3D-Bild** zusammengefügt werden.



Anwendungen in der Medizin

Die wichtigsten analytischen, bildgebenden (tomografischen) Verfahren der Medizin sind neben **Elektronenmikroskopie** und **Röntgen** (s. o.):

1. **Computer-Tomografie (CT)** (*griechisch: tomo* Schnitt und *graphein* schreiben **synonym** mit Schnittbild-oder Schichtaufnahmeverfahren), Mehrere Schichten führen zu 3D.
2. **Kernspin-** = Magnetresonanztomografie (**MRT**, MRI) $\Rightarrow$ Dichte und lokale Umgebungsbedingungen von Wasserstoffatomen (starke Magnetfelder und Radiowellen).
3. **Nuklearmediagnostik (PET)** Positronen-Emissions-Tomografie $\Rightarrow$ Emission von Strahlen oder Positronen aus radioaktiven Kontrastmitteln und (SPECT) Einzelphotonen-Emissionscomputertomografie $\approx$ **Angiographie** = Nutzung (radioaktiver) Tracer $\approx$ **Scintigrafie**
4. **Sonographie** $\Rightarrow$ Ultraschall, longitudinale elastische Schwingungen ca. 2 - 20 MHz, Laufzeit und Stärke von Echos und Durchstrahlungen.
5. **Endoskopie** $\Rightarrow$ früher mit Faseroptiken, heute CCD-Sensoren; meist mit Licht.
6. **Thermographie** $\Rightarrow$ Temperaturverteilung der Körperoberfläche oder im Körperinneren. (s. o.)
7. **Elektro**-Enzephalographie (**EEG**) und Elektrokardiographie (**EKG**) $\Rightarrow$ bio-elektrische Signale.
8. **Magneto**-Enzephalographie (MEG), Magnetokardiographie (MKG) $\Rightarrow$ bio-magnetische Signale.
9. **Elektrische Impedanz**-Tomografie (EIT) $\Rightarrow$ elektrischer Widerstand des Körpers.
10. **Optische Kohärenztomografie** (OCT).

Genauer beschrieben werden insbesondere die Punkte 1 bis 4.

Weitere Details in [6]

Tomografien

altgriechisch τομή, tome, „Schnitt“ und γράφειν, grafëin, „schreiben“

Es gibt vielfältige Anwendungn

- **Medizin:** Ultraschalldiagnostik (Sonografie), Computertomografie (CT, s.u), Magnetresonanztomografie (MRT, Kernspintomografie), Positronen-Emissions-Tomografie (PET), Einzelphotonen-Emissionscomputertomografie (SPECT), Optische Kohärenztomografie (OCT) und Elektrische Impedanz-Tomografie (EIT).
- **Geowissenschaften, z. B.** seismische Tomografie, Bodenradar, Altimetrie und Gravimetrie
- **Physik:** *Quantentomographie*, (z. B. Dichtematrix oder Ort- und Impulsverteilung), *Elektronentomografie* mit Transmissionselektronenmikroskop (TEM), *Neutronentomografie* (*Paläontologie* und *Materialwissenschaften*), Tomografische Atomsonde, atom-probe tomography (APT)
- *Photoakustische* Tomografie (PAT) in den Materialwissenschaften und der biomedizinischen Forschung
- Computed Tomography *Imaging Spectrometer* (CTIS) zur spektralen Aufnahme von Bildern.

Computertomografie (CT)

Sie ist die älteste Tomografie und wird wegen des notwendigen Rechners seit etwa 1960 eingesetzt.

Meist werden mit Röntgenstrahlen und die unterschiedliche Durchlässigkeit der Gewebearten genutzt.

Der fächerförmig gebündelte Röntgenstrahl der Quelle fährt in kleinen Schritten um den Körper

Der Patient wird nicht nur aus einer Richtung durchstrahlt,

sondern er durch eine sich drehende Röntgenröhre komplett aus allen Richtungen schichtweise "abgetastet",

dabei er durch eine runde Öffnung des Computertomographen vorgeschoben

Gegenüber sind auf einem Teilkreis Detektoren angebracht, welche die Restenergie messen.

Mit beachtlichen mathematischen Aufwand wird erst aus allen Aufnahmen die Rekonstruktion der Gewebeverteilung in der 1 - 8 mm dicken Schicht berechnet.

Mit zusätzlichen Computerberechnungen sind auch 3D-Bilder möglich.

Eine Kopfuntersuchung dauert etwa zehn, die Erfassung des Unterleibs rund dreißig Minuten.

Dazu wird der Patient kontinuierlich weitergeschoben.

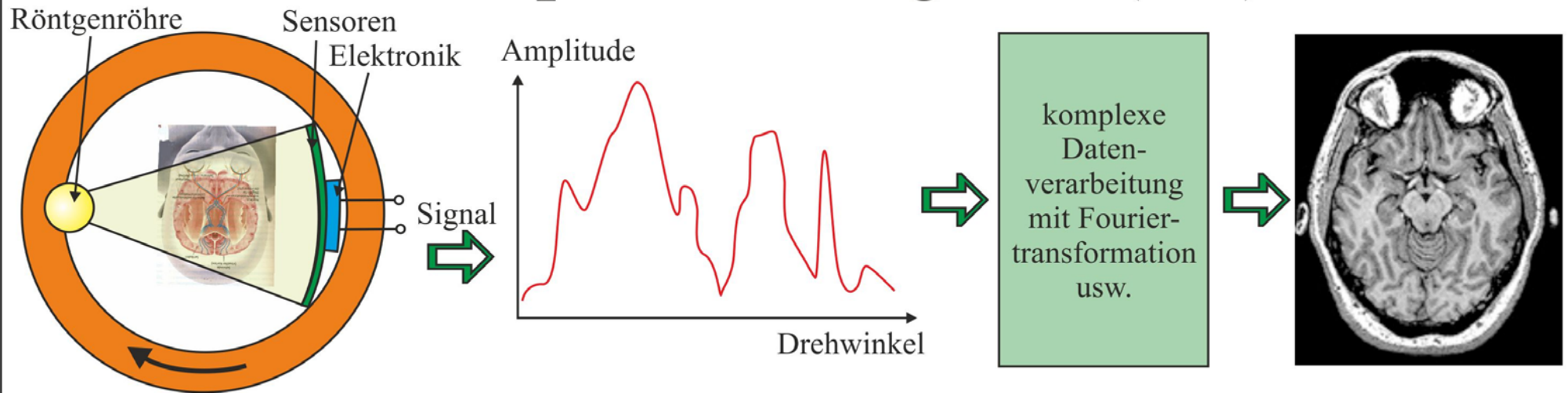
Zur besseren Abgrenzbarkeit von bestimmten Strukturen (Gefäßen, Darm etc.) muss bei vielen Untersuchungen zu Beginn der Untersuchung ein jodhaltiges Kontrastmittel in eine Vene gespritzt werden.

Die CT wurde 1972 von dem amerikanischen Physiker Allan M. Cormack und dem britischen Ingenieur Godfrey N. Hounsfield entwickelt. Sie erhielten dafür im Jahre 1979 den Nobelpreis für Medizin.

1972 erstes CT-Gerät, 1974 erstes kommerzielles CT-System mit Sofortbildrekonstruktion

1996 Ultra Fast Ceramic Detektoren: reduzierte Strahlendosis, gleiche Bildqualität

Prinzip der Tomografie (CT)



Bildgebend1.cdr H. Völz 26.3.13

MRT

Englisch: Magnet Resonance Imaging, MRI

auch NMR = nuclear magnetic resonance, Spektroskopie, Kernresonanz, [para] magnetische Kernresonanz

Die **Kernspin- = Magnetresonanz-Tomografie** wurde als bildgebende Methode von Paul C. Lauterbur im September 1971 erfunden und ist seit den 1980er Jahren im klinischen Einsatz.

Sie benutzt **keine** Röntgenstrahlung oder Radioaktivität, aber lange, relativ enge Röhre.

Ursprünglich hieß sie nuclear magnetic resonance NMR. Auch magnetic resonance imaging (MRI) ist gebräuchlich.

Sie benötigt ein **starkes Magnetfeld**, das die **Spins** von Wasserstoffkernen/Protonen usw. im Gewebe **ausrichtet**.

Und bewirken eine Kreiselbewegung (**Präzession**) des Spins.

Die dazugehörende **Larmorfrequenz** hängt vom Magnetfeld ab und beträgt z. B. 42 MHz bei 1 T.

Ein eingestrahlter kurzer **hochfrequenter Impuls** eingebracht, bewirkt ein **Schlingern, Umgeklappen**.

Bei **Rückkehr** in den Ruhezustand (Relaxation) senden die Protonen ein **HF-Signal** aus.

Es wird bzgl. **Intensität** und **Verzögerung** gemessen.

Ein zusätzliches geringeres **Gradienten-Magnetfeld** ermöglicht die **räumliche Zuordnung** der empfangenen Signale.

Insgesamt müssen die Magnetfelder recht kompliziert verändert werden. (klopfende Gräusche).

Aus allen Messwerten kann vor allem die gewebeabhängige Dichteverteilung berechnet werden.

Differenzierung des Gewebe kann durch den Einsatz spezieller Kontrastmittel (v.a. Gadolinium) verbessert werden.

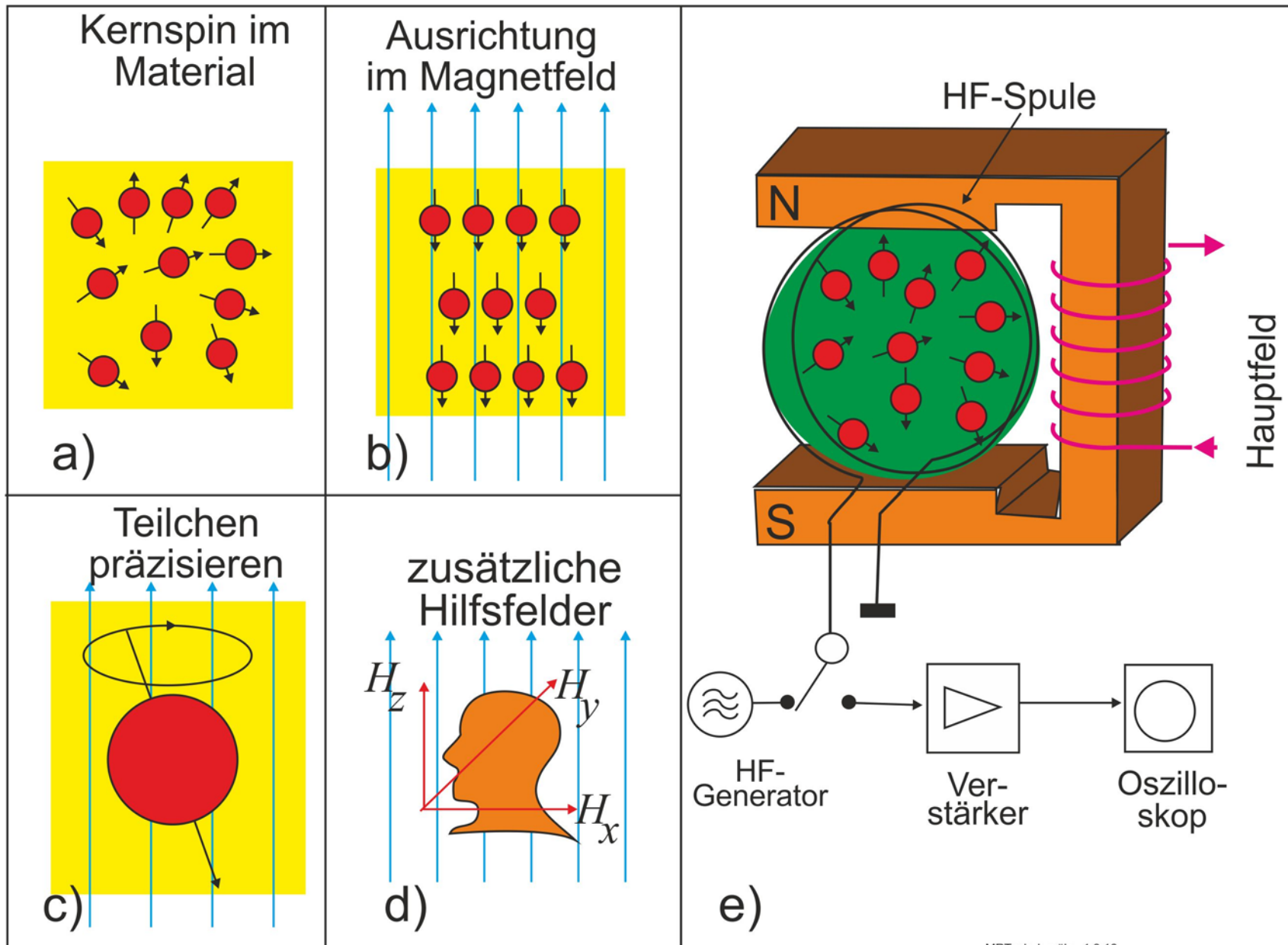
Die notwendigen hohen Magnetfelder $\geq 1\text{T}$ (bis 10) fordern **supraleitende Spulen** und eine starke **Abschirmung** gegen die Umgebung. Entfernen von Geld, EC-Karten, Schlüssel, Metallimplantate, Herzschrittmacher usw.

Mit stark wachsender Leistungsfähigkeit wurde die Geschwindigkeit der Messungen erheblich gesteigert.

So ist heute auch eine **funktionelle Tomografie** (fMRT) möglich.

Sie gestattet vielfältige Veränderungen, z.B. Abläufe im Gehirn, bei der Durchblutung usw. zu verfolgen.

Es gibt viele weitere Varianten.



MRT.cdr h. vözl 1.3.16

Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Es wird eine leicht radioaktiv „markierte“ Verbindung (Tracer) benutzt, die bei Stoffwechselprozessen vorkommt. Das typische ^{18}F -Fluordesoxyglukose (FDG) spritzt der Arzt dem Patienten an jenen Ort (Organ), der untersucht werden soll. alternativ können beispielsweise auch Aminosäure-Analoga verwendet werden.

Der Tracer zerfällt (Positronen) und erzeugt dabei γ -Strahlung.

Dabei werden die **zwei Potonen** (γ -Quanten) in entgegengesetzte Richtungen abgestrahlt.

Zum Detektieren ist das Objekt rings von **Detoren umgeben**.

Jeweils zwei gegenüberliegende Detoren empfangen korreliert.

Jedes so **gemeinsam empfangene Signal** weist den **Ort** zwischen ihnen und die gemessene **Energie** aus.

Viele sich **schneidende Linien** ergeben schließlich ein **Bild** der jeweiligen örtlichen Stoffwechselrate.

Daran kann man u. a. erkennen, in welchen Regionen des Körpers ein Tumor wächst.

Szintigraphie

Sie ist eine nuklearmedizinische Untersuchungsmethode, vereinfacht Szinti genannt.
Dem Patienten werden kurzlebig radioaktiv markierte Stoffe (Radionuklide) verabreicht.
Sie reichern sich durch den Stoffwechsel in bestimmten Organen an.
Mit Hilfe einer Gammakamera wird die Strahlung aufgenommen werden.
So können bestimmte Körpergewebe sichtbar gemacht werden
Vor allem sind dies Schilddrüse, Skelett und Lunge seltener Trombose.
Das dabei entstehende Bild wird Szintigramm genannt.
Dabei steht meist blau für geringe und rot für hohe Aktivität.

Angiographie

ist eine radiologische Darstellung von Blut-, und im weiteren Sinne auch von Lymphgefäßen
Über einen Katheter oder eine venöse Kanüle werden Kontrastmittel in das jeweilige Gefäß eingespritzt.
Es erfolgt dann wird eine Serie von „Röntgenbildern“ (Angiogramme).
Sie lassen die Verteilung und den Fluss der Markersubstanz verfolgen.

Thermografie

erfasst Infrarotstrahlung mittels einer Wärmebildkamera.
Sie ist ein bildgebendes Verfahren zur Diagnostik von Durchblutungsstörungen oder Entzündungen.
Auch das Aufspüren von Oberflächentumoren ist möglich.
Dabei werden Temperaturunterschiede von 0,1 °C dokumentiert.

Sonografie

*Lateinisch **sonitus** Schall, Klang (Echografie)*

Die Sonografie ist nicht zu verwechseln mit dem Sonagramm = grafische Schalldarstellung als Spektrogramm.

Der Ursprung ist zur militärischen Ortung von U-Boten mit Ultraschallwellen im Wasser entstanden.

Doch infolge der hohen Energie zerborsten dabei die Fische.

Später wurde das Verfahren zur Aufdeckung von Materialfehlern in Werkstoffen genutzt.

Eine erste medizinische Anwendung erfolgte 1942 durch den Neurologen Karl Dussik (1908–1968)

Er stellte damit einen Seitenventrikel des Großhirns in A-Mode-Messung (Amplitudendarstellung) dar.

Er nannte das Verfahren Hyperfonografie.

Später entstanden B-Mode-Schnittbilder (bewegter Strahl, Helligkeitsdarstellung ähnlich Impulsradar (s. d.).

Sie zeigten Bilder aus dem Bereich des Halses und des Abdomens.

Es folgten Anwendungen in der Augenheilkunde (1956) und Gynäkologie.

Heute erfolgt Anwendung in fast allen Gebieten. Vorteilhaft sind auch die geringen Betriebskosten (CT, MRT).

einfachere Geräte und es entfallen aufwendige Strahlenschutzmaßnahmen und -belehrungen.

Die verwendeten Kontrastmittel verlassen als einzige nicht die Blutbahn.

Es werden nur so geringe Energien benutzt, dass die Methoden im Gegensatz zum Röntgen völlig unschädlich sind.

Selbst sensible Gewebe, wie bei Ungeborenen werden nicht beschädigt, die Untersuchung verläuft schmerzfrei.

Mit dem Doppler-Prinzip wurde auch Bewegungsdetektion ab 1959 möglich (Blutfluss in Adern).

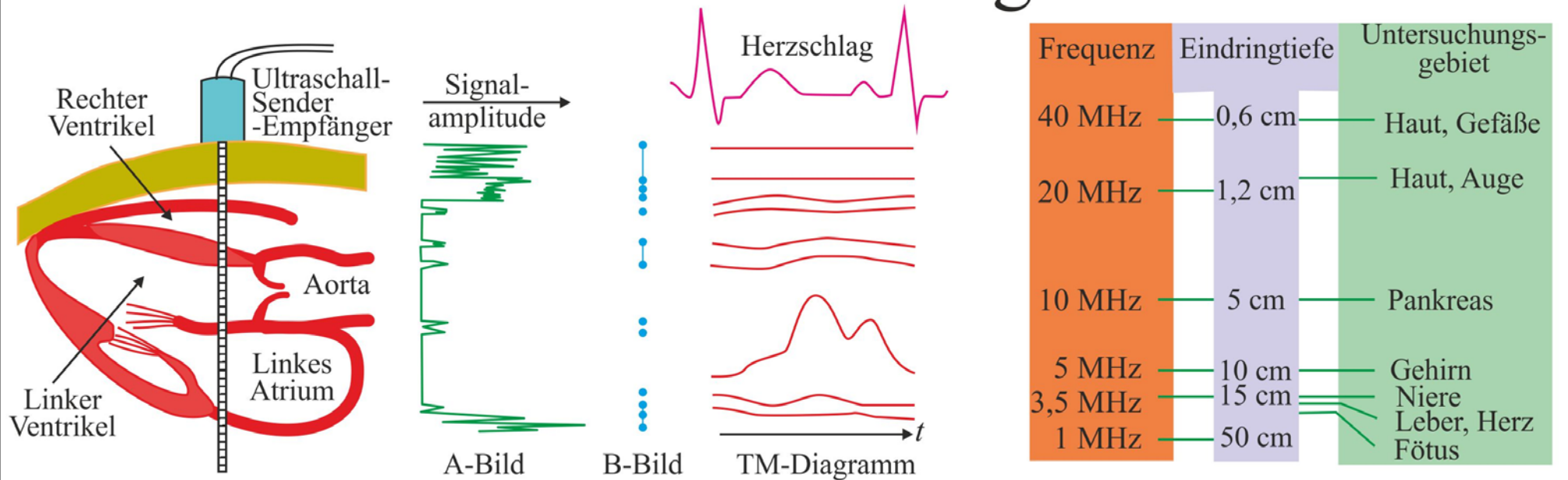
Das ergibt große Vorteile in der Angiologie und Kardiologie.

Als Quelle werden heute longitudinale elastische Schwingungen (Ultra-Schall 2 bis 20 MHz) verwendet.

Es wird an u. a. Organengrenzen reflektiert.

Aus der Laufzeit und Intensität können Bilder rekonstruiert werden. [7]

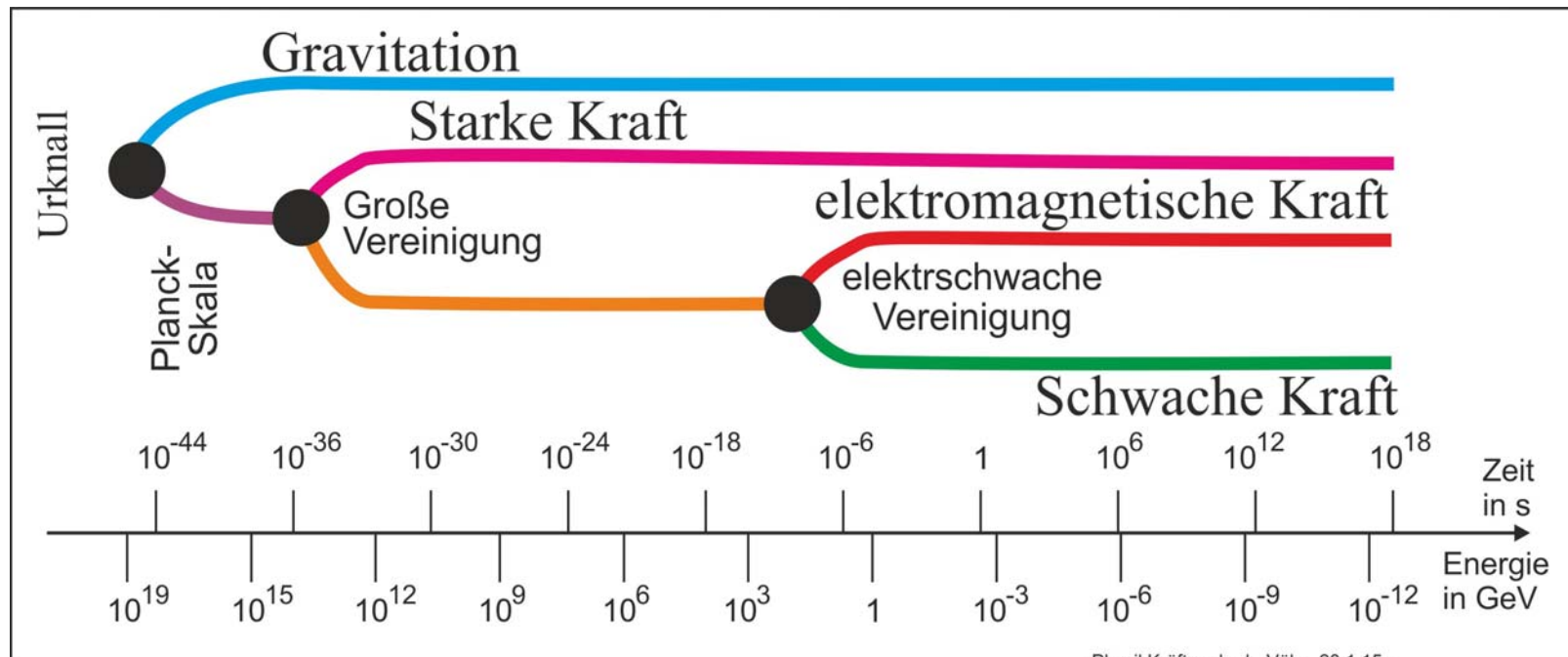
Ultraschall-Tomografie

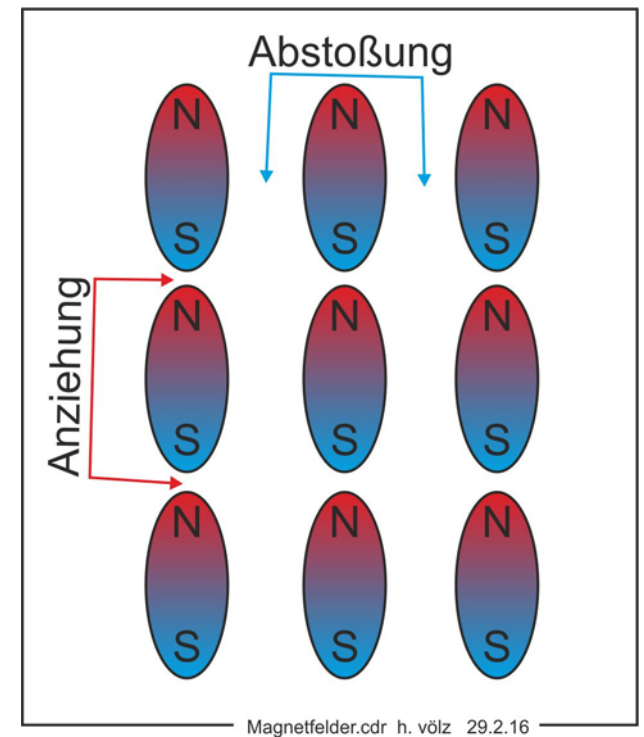
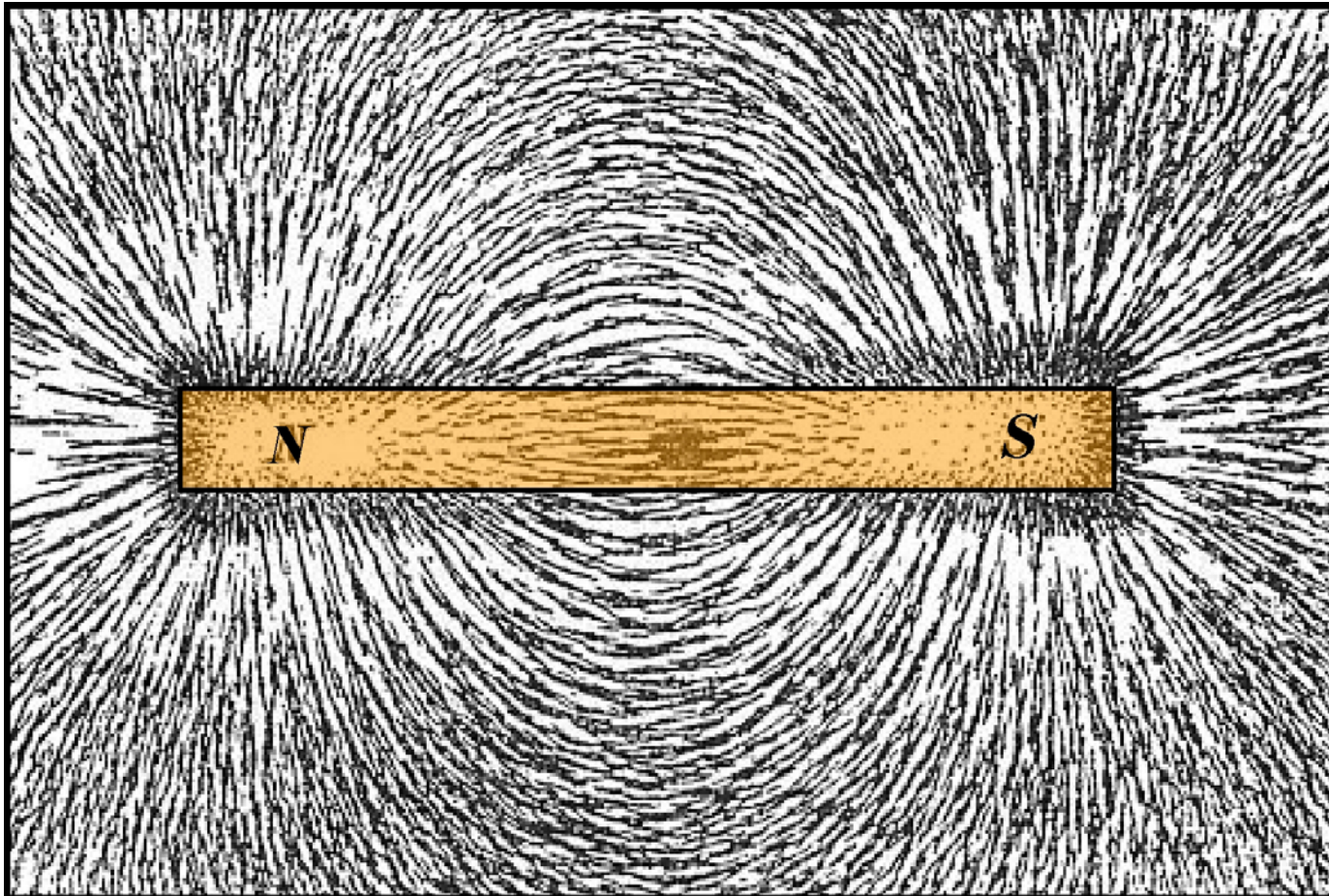


Bildgebend1.cdr H. Völz 26.3.13

Sichtbarmachen von Feldern

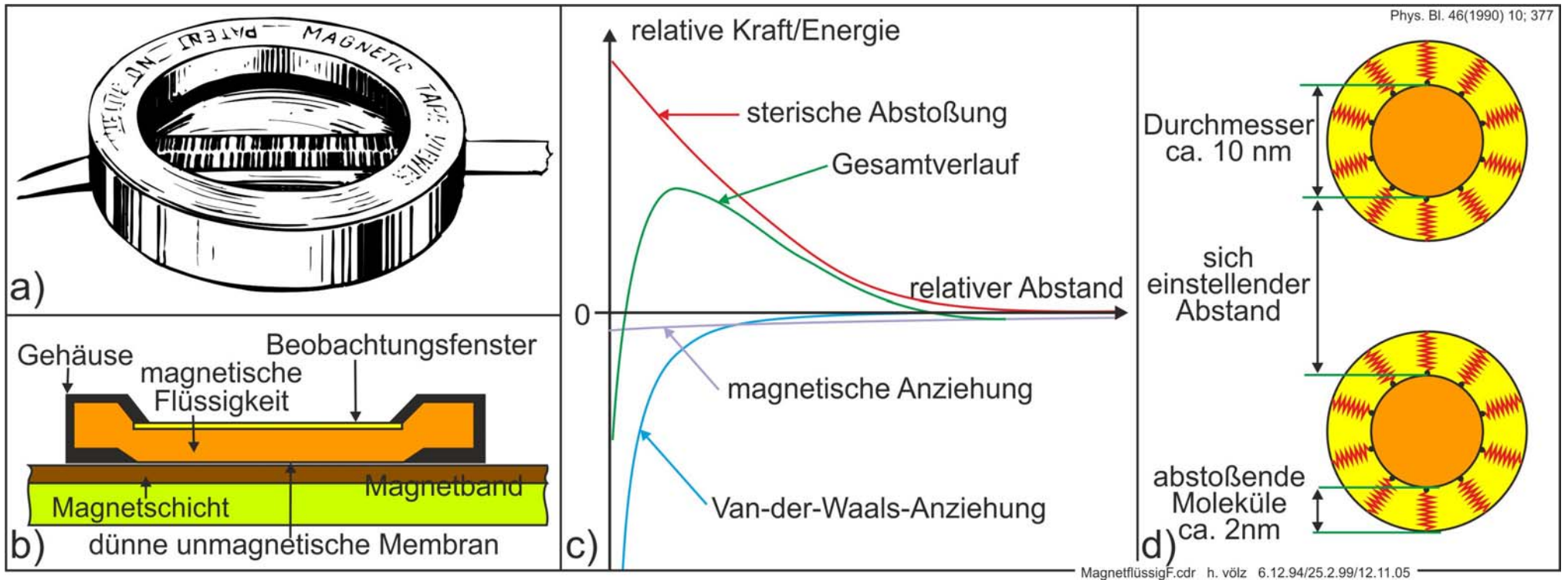
Alle, also auch elektrische und magnetische Felder sind **unsichtbar**, sie sind nur über ihre **Wirkungen** festzustellen. **Magnetischen Aufzeichnungen** bewirkten daher zunächst Misstrauen. Heute haben wir uns daran gewöhnt. Dennoch kann es zuweilen **nützlich bis wichtig** sein, Felder (vor allem magnetische) sichtbar zu machen. Das alte Schulbeispiel sind **Eisenfeilspäne**, die sich im Magnetfeld eines Magneten gerichtet sammeln. Für elektrische Felder ist das ähnlich mit feinsten **Lein-Samenkörnern, Sporen, Gries** oder Gipskristallen möglich. Bei den entsprechenden Bildern fällt auf, dass die Teilchen scheinbar diskreten Feldlinien folgen. Doch diese existieren ja eigentlich kontinuierlich dicht. Der Effekt tritt aber erst indirekt durch wechselseitige Anziehung und Abstoßung ein.



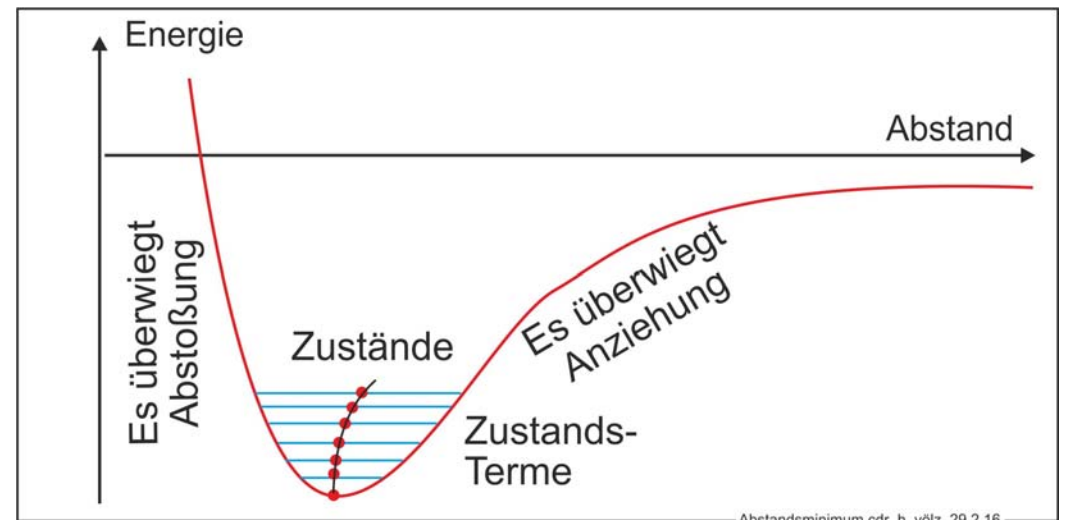


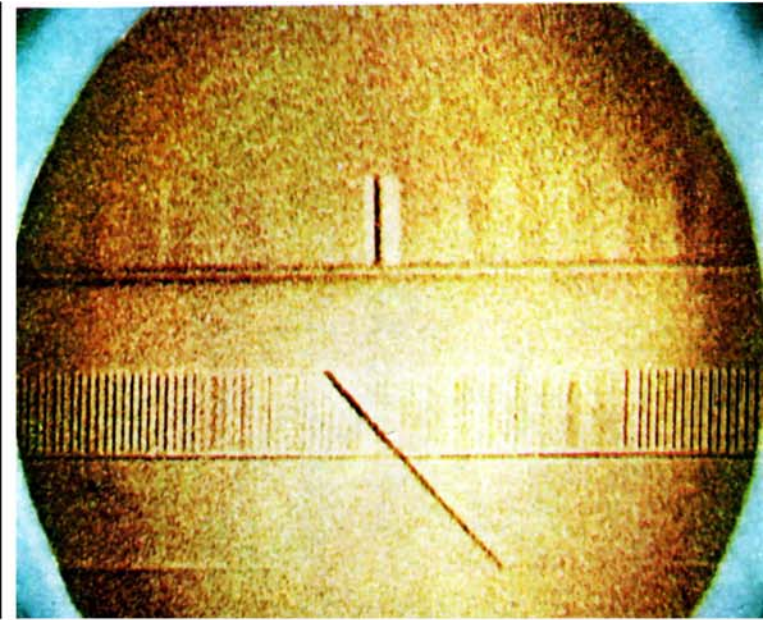
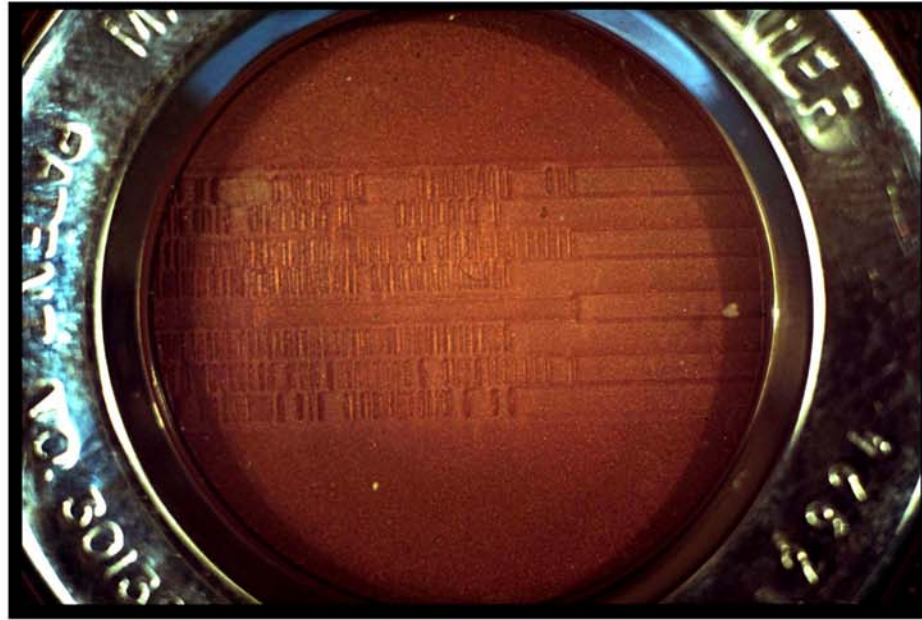
Magnetische Flüssigkeiten

In den 1930er Jahren wurden mittels **Bitter-Technik** sogar die Domänengrenzen des Ferromagnetismus sichtbar. Dazu wird auf die Oberfläche eine wässrige **Suspension** kleinster magnetischer Teilchen (z. B. Fe_3O_4) aufgebracht. 1941 gelang es erstmalig H. HEIDENWOLF bei Aufzeichnungen auf **Magnetbändern** mit sehr feinem Eisenpulver. W. GUCKENBURG benutzte 1954 **Carbonyl-Eisen-Pulver**, das in **Öl / Glyzerin** dispergiert war. Später **erwärmte** er Magnetband so stark, dass die Magnetkraft der Aufzeichnung die erweichte Unterlage verformte. Mitte 1960 brachte MMM (Minnesota Mining & Manufacturing Co. USA = 3M) den **Magnetic Tape Viewer** heraus. Dieses lupenartige Gerät ($\varnothing = 45 \text{ mm}$) enthält eine magnetische Flüssigkeit und wird auf das Band gelegt (s. Bilder). Mit ihm lassen sich **Spurlagen** der Köpfe, **Geradheit** der Spalte sowie **Start-** und **Stoppvorgänge** sichtbar machen. Infolge der unteren Metallfolie sind jedoch nur Wellenlängen $\lambda \geq 100 \text{ }\mu\text{m}$ darstellbar [8]. Einen speziellen Einsatz realisierte CHRISTIAN KORISTKA für **kriminelistische** Anwendungen. Es werden ferro- oder ferrimagnetische Teilchen kolloidal in einer Trägerflüssigkeit, z.B. Wasser oder Öl suspendiert. Mit $\varnothing \leq 10 \text{ nm}$ handelt es sich um Einbereichsteilchen, die frei drehbar sind und keine Hysterese aufweisen. Zur Stabilisierung der Flüssigkeit werden die Teilchen mit oberflächenaktiven Substanzen (z. B. Ölsäure) so umgeben, so werden koagulieren, sedimentieren durch Gewicht oder gegenseitige Anziehung verhindert. Es stellt sich automatisch ein optimaler Abstand ein und Volumenkonzentrationen der Teilchen um 10 % ein. Durch Variation der Herstellungsparameter ist heute ein breites Spektrum magnetischen Flüssigkeiten im Handel.

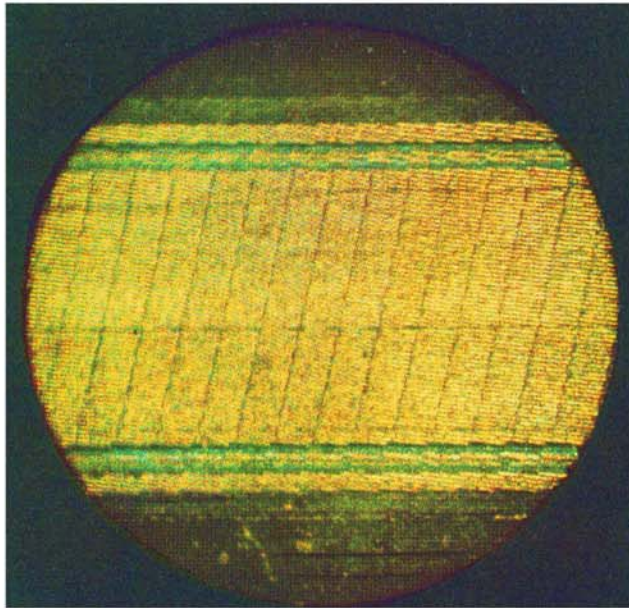


Für einen optimalen Abstand bei Atomen und Molekülen wirken sich generell Anziehung und Abstoßung aus.

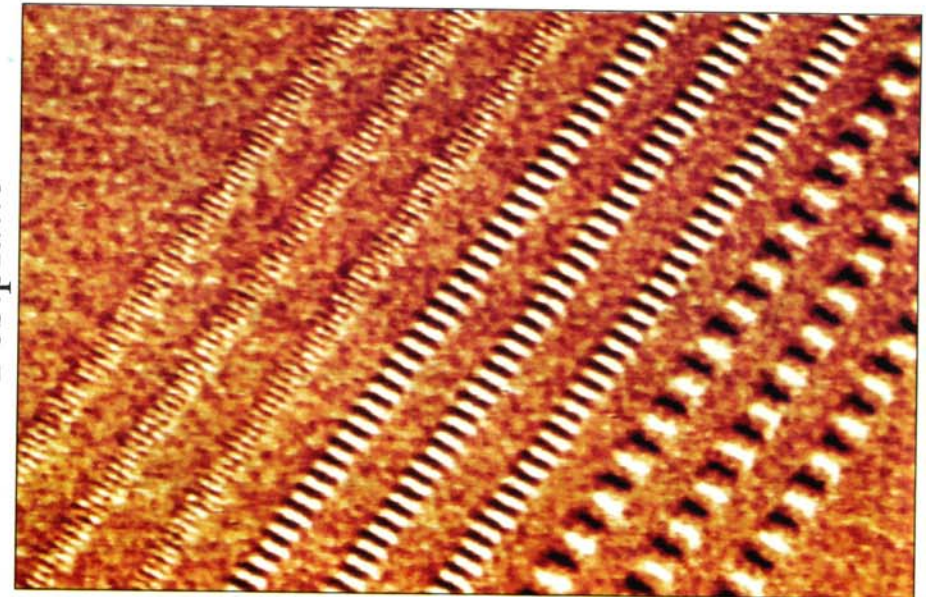




Videoband



Festplatte



Viele Anwendungen

Neben der Sichtbarmachung werden magnetische Flüssigkeiten heute vielfältig verwendet, z. B. Vakuumdichte Durchführungen für die Raumfahrttechnik, magnetische Tinte zum Drucken, Kühlung bei Lautsprechern. Auch medizinische Anwendungen sind erprobt. Medikamente können so gezielt durch Magnetfelder bewegt werden

Sie gestatten Prüfungen auf Dokumentenechtheit; daher waren ab 1970 Bänder in der DDR als **Beweismittel** zugelassen. 1965 stellte S. PAPELL **Ferrofluide** = Ferroflüssigkeiten her; Sie ermöglichten schließlich Auflösungen im μm -Bereich.

Dabei mussten natürlich das **Mikroskop** und **Lichtstreuungen** für **Beugungen** herangezogen werden.

S. a. [28] und viele Details [26] S. 332 ff.

Nachweis von Strahlungen

Auch Strahlungen sind nicht unmittelbar sichtbar.

Doch zu ihrem (bildlichen) Nachweis gibt es mehrere Möglichkeiten [9]. S. 619 ff.

1. **Ionisationskammern**, in denen zwischen zwei Elektroden ein elektrisches Feld herrscht. Die auftreffenden Strahlen erzeugen Ladungsträger und steuern so einen Sättigungsstrom. Der Wirkungsgrad ist gering. Etwas günstiger sind Halbleiterzähler (pn-Übergang, Zehldioden, Sperrschichtzähler).
2. **Geiger-Müller-Zählrohre**, in denen auftreffende Teilchen durch Ionisierung einen kurzzeitigen Entladungsstoß hervorrufen, der verstärkt und gezählt werden kann (kein Bild erzeugbar).
3. **Wilsonsche Nebelkammer** in denen vor allem mit Wasserdampf übersättigter Luft α - und β -Teilchen Kondensspuren hinterlassen. Weiterentwicklungen sind Blasen- und Funkenkammer (s. u.).
4. **Szintillationszähler**, in denen die auftreffende Strahlung bestimmte Leuchtstoffe zur Lichtemission anregt. Typisch sind mit Silber- oder Kupferspuren aktiviertes Zinkulfid, Natriumiodideinkristalle und Anthracen. Man kann die Lichtblitze durch eine Lupe beobachten und auszählen oder auch auf eine Fotokatode fallen lassen und die dort herausgeschlagenen Elektronen in Sekundär-Elektronen-Vervielfachern (Fotomultiplier) „verstärken“. So erhält man die empfindlichsten und leistungsfähigsten Strahlenmessgeräte. eine Variante sind **Tscherenkow-Detektoren**. Abbremsstrahlung bei über zulässiger Lichtgeschwindigkeit.
5. **Kernspurenemulsionen**, in deren lichtempfindlicher Schicht Strahlungen Schwärzungsspuren hinterlassen.

Wilsonkammer (1896)

Sie besteht aus zylindrischem Gefäß, das mit wasserdampfgesättigten Gas (meist Luft) gefüllt ist.

Mittels eines Kolbens wird das Gas etwa auf $\frac{4}{3}$ seines ursprünglichen Volumens expandiert.

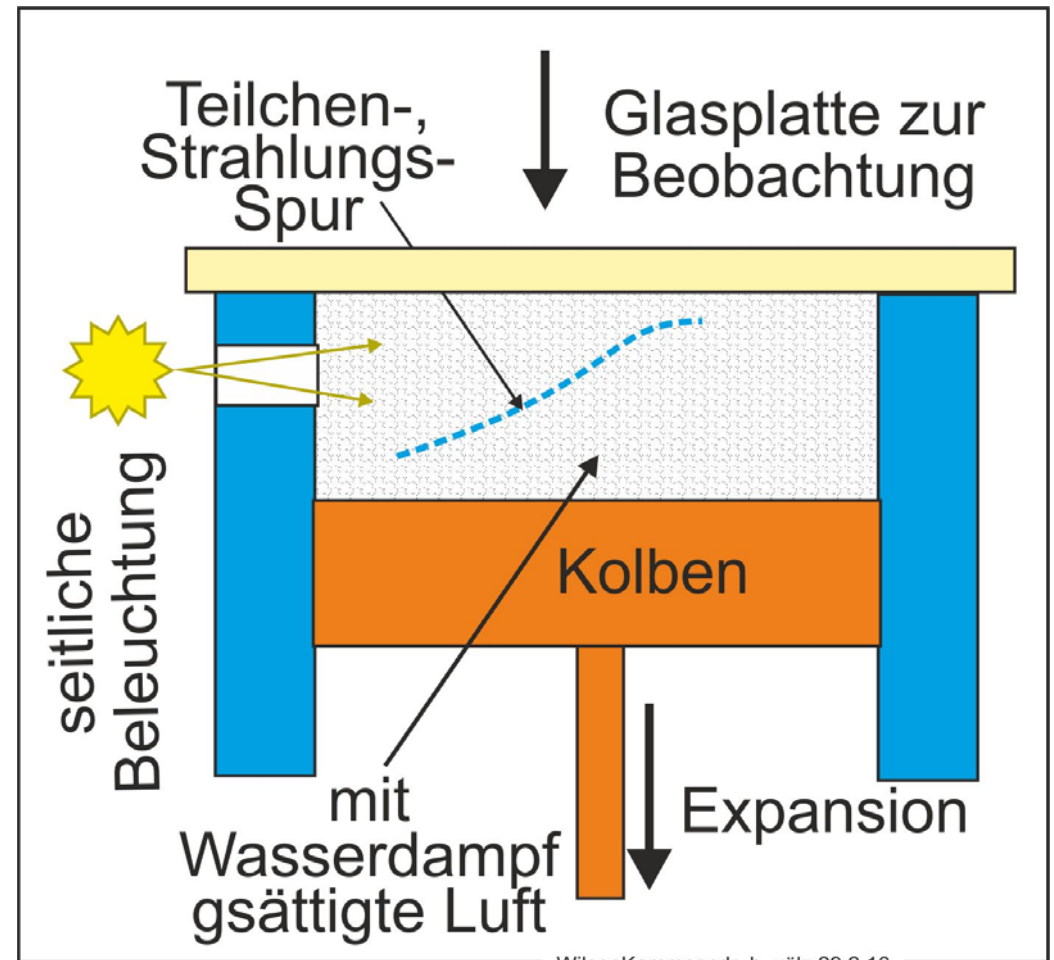
Die adiabatische Ausdehnung kühlt das Gas ab, und es ist dann mit Wasserdampf übersättigt.

Doch damit kleine Wassertropfen (Nebeltropfen) entstehen, müssen Kondensationskerne, z. B. kleine Staubteilchen oder auch geladene Gasmoleküle (positive oder negative Ionen) auftreten.

Dies können Strahlen oder Teilchen auslösen, die im rechten Moment die Zelle passieren.

Die Flugbahn eines elektrisch geladenen Teilchens kann zusätzlich durch ein Magnetfeld gekrümmt werden.

Der Bahnradius und Krümmungsrichtung hängen u. a. von der Energie bzw. der Geschwindigkeit des betreffenden Teilchens ab.



Blasenkammer (1952)

Schwach ionisierende Teilchen erzeugen im Füllgas sehr wenig Ionen.

Daher wurden Kammern entwickelt, die mit einer siedenden Flüssigkeit gefüllt werden.

Bei plötzlicher Expansion tritt dann kurzzeitig Überhitzung ein.

An den Ionen bilden sich dann Dampfbläschen (Blasenkammer, Glaser 1952),

Viele Blasenkammern werden inzwischen mit supraleitenden Magneten anstelle der gewöhnlichen versehen.

Andere Kammern werden mit flüssigem Wasserstoff gefüllt.

So kann auch die Wechselwirkung mit Wasserstoffkernen untersucht werden.

Funkenkammer

Sie besteht aus einer Reihe von etwa m^2 -großen und cm-dicken Al-Platten, die parallel zueinander in einer

Edelgasatmosphäre angeordnet sind. Die Platten 1, 3, 5 usw. sind geerdet

An die Platten 2, 4 usw. kann für die Dauer von jeweils etwa $0,2 \mu\text{s}$ eine Spannung von 20 kV gelegt werden

Sie reicht gerade noch nicht aus, um einen Funken überspringen zu lassen.

Dies bewirkt ein geladenes Teilchen, das längs der Teilchenbahn das Gas ionisiert.

Dabei bilden sich infolge der Stoßionisation leuchtende Funken aus, die photographiert werden können.

Die Teilchenbahnen sind nicht so scharf gezeichnet wie bei der Blasenkammer.

Dafür kann aber die Funkenkammer gesteuert ausgelöst werden

Radar

Radio Detection and Ranging früher Radio Aircraft Detection and Ranging
frei übersetzt: „Funkortung und -abstandsmessung bzw. „funkbasierte Flugzeugortung und -abstandsmessung“
ursprüngliche deutsche Bezeichnung „Funkmeßtechnik“

Versuche zur **Ortung mit Radiowellen** von Christian Hülsmeier 1904 (Patent 30.4.), geriet in Vergessenheit.

Eigentlicher **Erfinder** der schottische Physiker Sir ROBERT ALEXANDER WATSON-WATT (1892–1973).

Erforschte **Reflexion von Radiowellen in der Meteorologie** (1919 Patent).

1935 erstmals zur **Radarortung von Flugzeugen** im Meterwellenbereich.

Ganz wesentlich ist Anfang 1940 die Erfindung des **Magnetrons** (Universität Birmingham)

Heute werden grob unterschieden:

- **Impulsradar**: kurze Impulse konstanter Frequenz, zwischendurch Empfang des Echos über gleiche Antenne
Impulsfolge 1,2 kHz, -Länge 1 μ s.
- **Dauerstrichradar** = CW (continuous wave): konstante Amplitude frequenzmoduliert, Doppler-Effekt zur Geschwindigkeitsmessung.

Es können folgende Informationen bzgl. des Objektes gewonnen werden:

1. **Winkel bzw. Richtung**, 2. **Entfernung**, 3. **Relativbewegung** mittels Doppler-Effekt
4. Aneinanderreihen von Messungen lässt **Wegstrecke und Absolutgeschwindigkeit** bestimmen.
5. Bei guter Auflösung können **Konturen** (z. B. Flugzeugtyp) erkannt oder **Bilder** (Erde; Planet) gewonnen werden.

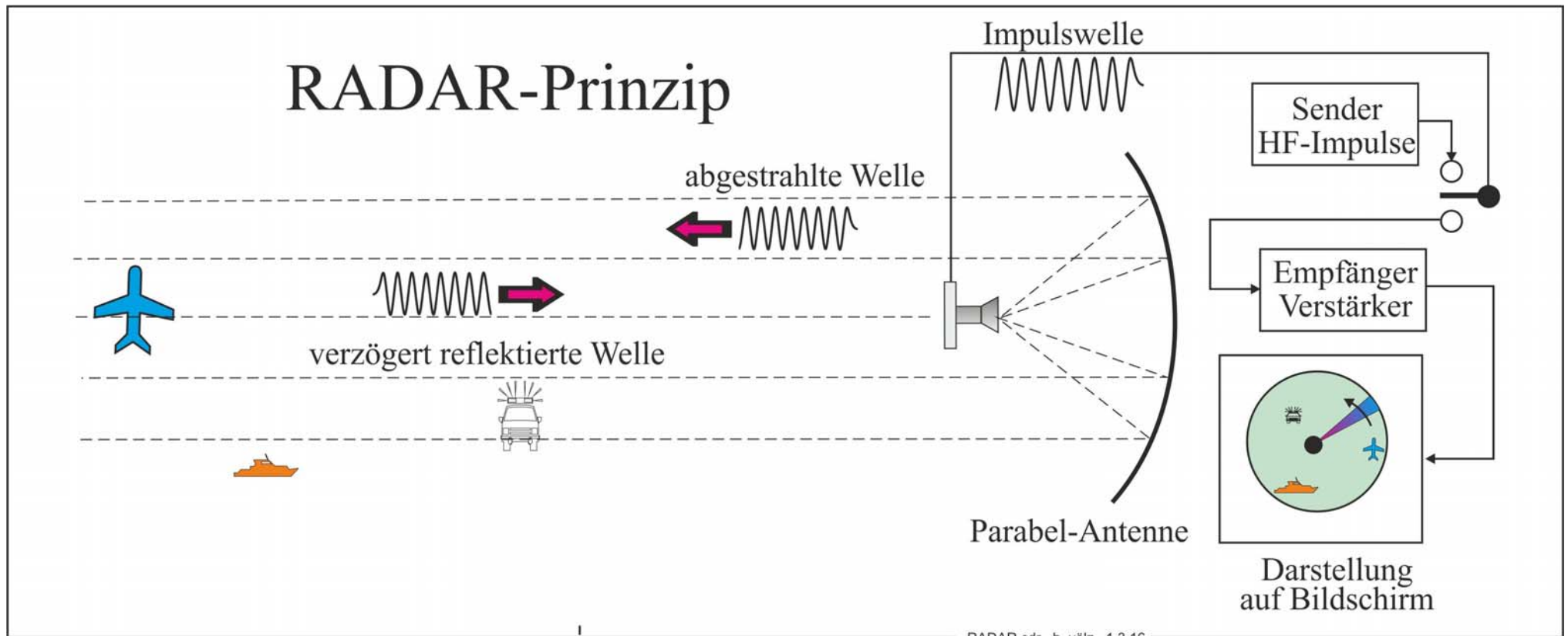
Radarantennen müssen starke Richtungscharakteristik aufweisen.

Die Breite des Strahles proportional der Wellenlänge und umgekehrt proportional zur Breite der Antenne.

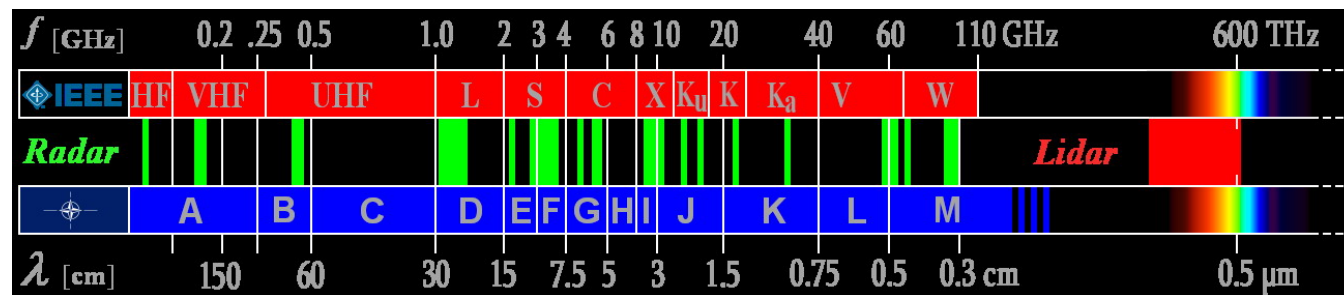
Zur Vermeidung großer Antennen bei mobilen Geräten daher Mikrowellenradar.

Sekunderradar durch Antwort vom Objekt (vermittelt Art des Objekts, seine Höhe usw.)

Radartechnik auch für **Schall** (Reflexion Fledermäuse und Wale) (s. d.)



Impuls-Radar-Funktion mit Rundumsicht



Radar-Frequenzen „grün“ (Bild Internet), niedrige Frequenzen weitreichender.

Anwendungen

- Rundsichtradar; Überwachung von **Schiffs- und Flugverkehr**, feste Station bei Flugsicherung oder Schifffahrt, oder mobil auf Fahr- und Flugzeugen sowie Schiffen.
Boote können zur besseren Sichtbarkeit mit einem **Radarreflektor** ausgerüstet werden.
- Zielverfolgung der **Luftverteidigung** (450 km und mehr), bodengebunden oder in Fahr-, Flugzeugen, Schiffen und Raketen (impulsfrequenz nur 320 oder 450 Hz).
- Bordradar auf Flugzeugen (Radarnase), **Wetterfronten** entdecken (Wetterradar) bzw. Flugzeuge, Raketen entdecken (**Antikollision**)
- Bodenradar zur **Überwachung der Positionen** von Flug- und Fahrzeugen
- **Fernerkundung und militärischer Aufklärung**, am Boden Einzelheiten erkennen.
- **Wetterradar**, Erkennung und Ortung von Schlechtwetterfronten, Messung der Windgeschwindigkeit
- Feuerkorrektur der eigenen **Artillerie und Raketen**, Ortung feindlicher Artilleriestellungen
- **Bewegungsmelder** zur Überwachung von Gebäuden und Gelände, z. B. als Türöffner oder Lichtschalter
- Messung der **Geschwindigkeit im Straßenverkehr**.
- Kfz: radarbasierte **Abstandshalter**. Kopplung mit **Notbremsfunktion**
- **Züge** messen Wegstrecke und Geschwindigkeit mit Doppler-Radargeräten
- **Bewegungs- oder Füllstandsmelder**
- **Astronomie**: Kartierung von Planeten (z. B. Venus, Mars) Mond und Sonne, von der Erde aus oder von Raumsonde, Vermessung der Bahnen von Planeten, Asteroiden und Raumsonden sowie Weltraummüll. **Erde von Satelliten aus**.
- Detektion von **lebenden Personen**, deren Körperbewegung, **Verschüttete** in Lawinen, Abstand einige Meter.
- Für die **zivile Schiff- und Luftfahrt**.

Literatur

- [1] Bonnke, H.; Lehr, A.; Scheplitz, H.-G.: Wir Mikroskopieren. Verlag Technik, Berlin, 1973
+ weitere Details zu „Mikroskopie“ siehe Wikipedia: Auflösung
- [2] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 2 Technik und Geschichte vorelektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2005
+ Völz, H.: Das Mensch - Technik - System. Expert - Verlag, Renningen - Malsheim 1999
- [3] Völz, H.: Elektronik - Grundlagen - Prinzipien - Zusammenhänge. 5. Aufl. Akademie Verlag, Berlin 1989. ab S. 387 + wikipedia „Wärmebildkamera“
- [4] Hodam, F.: Technische Optik. 2. Aufl. Verlag Technik, Berlin 1967
+ Schröder, G.: Technische Optik. Vogel Buchverlag, Würzburg 1990
+ Bei wikipedia sind unter „Teleskop“ 13 Varianten aufgelistet. (s. a. „Fernrohr“)
- [5] Ardenne, M. v.; Musiol, G.; Reball, S.: Effekte der Physik. Verlag Harri Deutsch, Thun - Frankfurt a/M. 1997
- [6] Gabriel, Ph.: Experimentelle Studie zum Vergleich der Bildqualität von axialen Schnittbildern und multiplanaren Reformationen der Computertomographie anhand von Wirbelkörperpräparaten. Dissertation Freiburg i. Breisgau 2004
+ http://de.wikipedia.org/wiki/Bildgebende_Verfahren (24.3.13)
+ http://www.htw-saarland.de/Members/michael.moeller/BMTImgSys/bildgebendeverfahren_tdoh_2008_ohne_video.pdf (24.3.13)
+ <http://epileptologie-bonn.de/cms/upload/homepage/lehnertz/mrt03.pdf>
- [7] http://www.htw-saarland.de/Members/michael.moeller/BMTImgSys/bildgebendeverfahren_tdoh_2008_ohne_video.pdf (24.3.13)
- [8] Ch.: Magnettonaufzeichnungen und kriminalistische Praxis. Publikumsabteilung, Ministerium des Innern, Berlin
+ Willaschek, K.: Visualisierung von magnetisierten Bereichen in der Magnetspeichertechnik. radio, fernsehen, elektronik 37 (1988) H.8, S. 525 - 527
+ Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 3 Geschichte und Zukunft elektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2007. (Magnetflüssigkeit S. 332 ff.)
+ Stierstadt, K.: Magnetische Flüssigkeiten - flüssige Magnete, Physikalische Blätter 46 (1990), S. 377 – 382.
- [9] Vogel, H.: Gerthsen Physik. 19. Aufl. Springer - Verlag, Berlin u.a. 1997