

Vorlesung Automatisierungstechnik in der Medizin

Bildgebende Systeme

Prof. Dr. Tim C. Lüth

Dipl.-Ing. Ralf Tita

MiMed – Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik

Prof. Dr. Tim C. Lüth

Technische Universität München - Germany



Lehrstuhl Mikrotechnik und Medizingerätetechnik
Univ. Prof. Dr. Tim C. Lüth

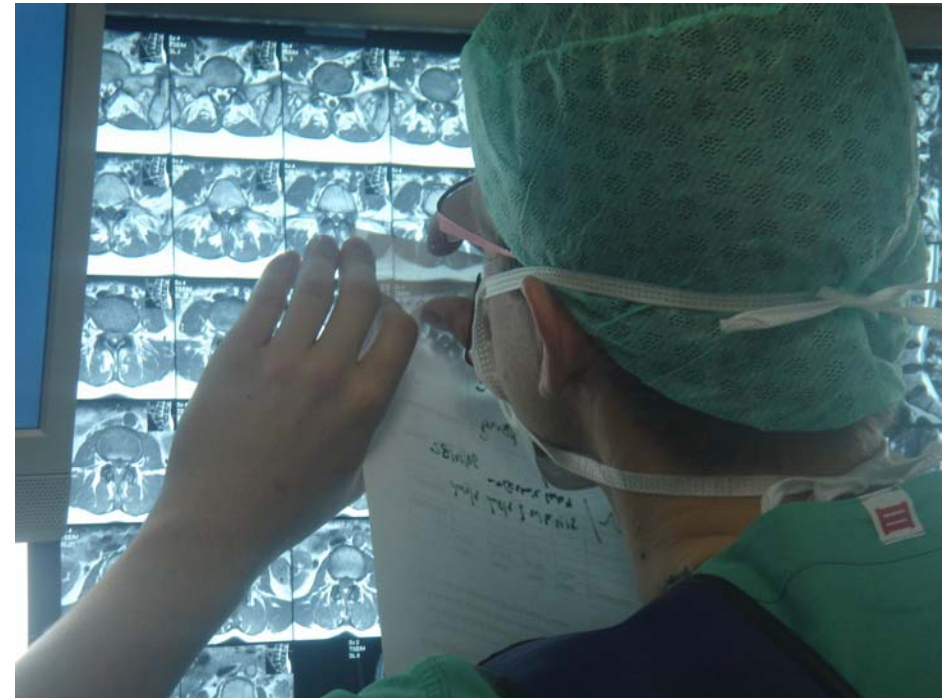


Fakultät
Maschinenwesen

Medizinische Fakultät
Klinikum rechts der Isar

Inhalt - Bildgebende Systeme

- Einleitung
- Optische System
 - Mikroskopie
 - Endoskopie
- Röntgen
 - Durchleuchtung
 - Angiographie
- Ultraschall
- Computertomographie
- Magnetresonanztomographie (MRT)
- Nuklearmedizin
 - Position Emission Tomography (PET)
 - Single Positron Emissions Tomography (SPECT)



Quelle: MiMed

Anwendung von Bildgebenden Systemen

- Diagnostik
- Therapie- und Verlaufskontrolle
- Vorsorgeuntersuchung
- Überwachung interventioneller Maßnahmen
- Bildgestützte Therapie

Medizinische Qualitätsmerkmale

- **Darstellung von Organen und deren Grenzen**
- **Detektion und Differenzierbarkeit pathologischer Symptome**
- **Abgrenzung gutartiger von bösartigen Prozessen**
- **Tumorstaging**
- **Belastung des Patienten (Strahlung, psychologische Belastung, Dauer, Kontrastmittel)**

Einsatzgebiete und Eigenschaften

		Röntgen	CT	MR	US
Darstellung von	Knochen	+++	+++	+	—
	Weichteilen	—/+ (a)	—	++	+
	Gefäßen	++ (b)	++ (b)	++	+
	Funktionen	—	—	++ (c)	++ (d)
	Volumina	—	++ (e)	++ (e)	+ (f)
Echtzeit		* (g)	+	+	++
Bildqualität		sehr gut	gut	mittel	schlecht
Psychische Belastung		gering	mittel	hoch	gering
Physische Belastung		hoch	hoch	gering	gering
Invasiv		nein (h)	nein (h)	nein (h)	nein
Untersuchungsdauer (i) in min		10	25	25	0
Kosten je Untersuchung in DM		ca. 80	ca. 200	ca. 800	ca. 20

Quelle: Lehman *et al.*: Bildverarbeitung in der Medizin, Springer 1997

Optische Systeme

- **Intraoperative Mikroskopie**
 - **Aufbau**
 - **Anwendung**
 - **Trends**
- **Endoskope**
 - **Starre Endoskope**
 - **Flexible Endoskope**

Aufbau Intraoperative Mikroskope

- **Auflichtmikroskop**
 - **Binokular**
 - **Strahlenteiler für Assistenz und Videokamera**
 - **Meist Autofokus**
 - **6-40 fache Vergrößerung**
- **Stativ mit Gewichtskompensation**
 - **Passiv durch Gewichte**
 - **Aktive durch Motoren**



Quelle: MiMed

Anwendungen Intraoperative Mikroskopie

- **Neurochirurgie**
 - **Kopf**
 - **Wirbelsäule**
- **Ophthalmochirurgie**
- **Hals-Nasen-Ohren-Chirurgie**
- **Gynäkologie**
- **Plastische & Rekonstruktive Chirurgie**
- **Dentalchirurgie**



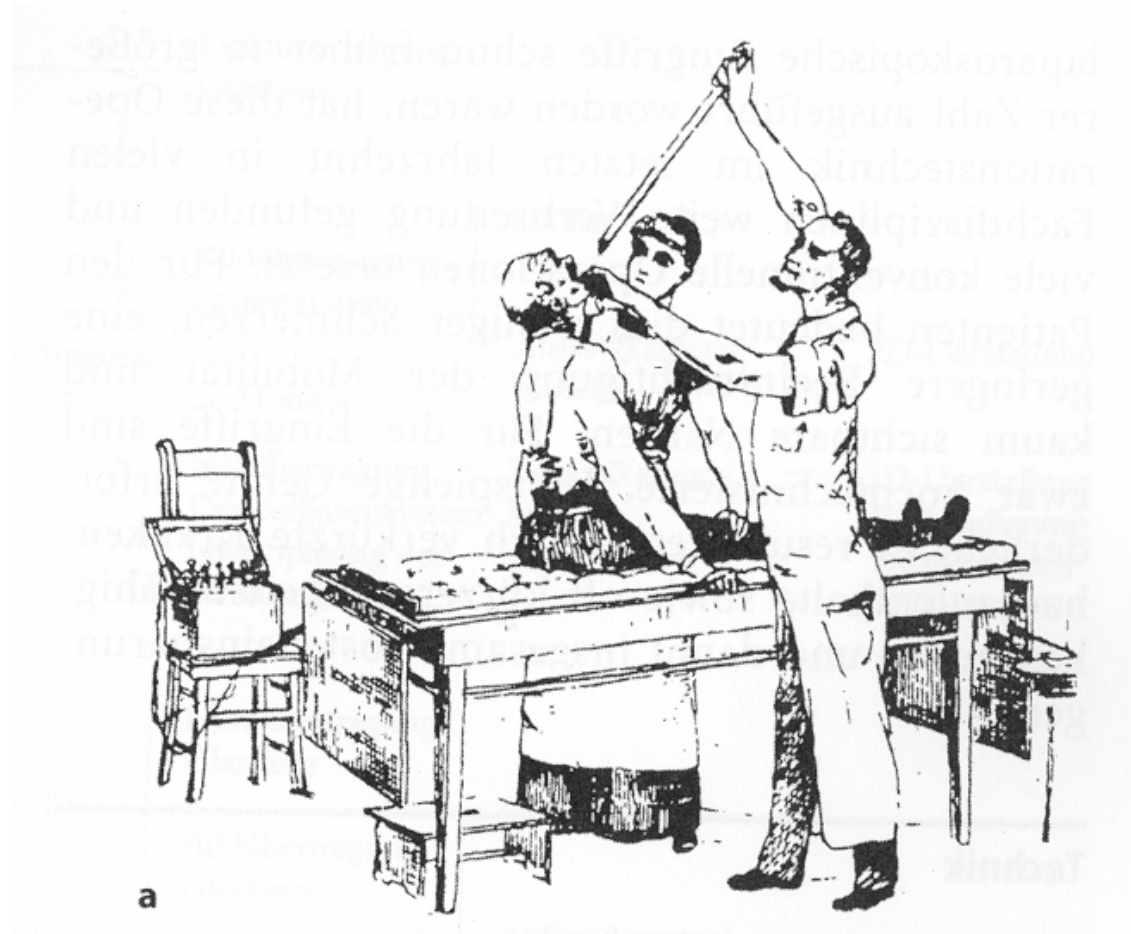
Quelle: MiMed

Trends Intraoperative Mikroskopie

- **Fluoreszenz Mikroskopie zur Tumordifferenzierung**
- **Koppelung mit Navigation (Augmented Reality)**
 - **Einblenden von Planungsdaten**
 - **Überlagerung mit CT oder MRT Daten**
 - **Anfahren von definierten Positionen**
- **DICOM Schnittstelle zur Dokumentation im Krankenhausnetzwerk**
- **Kombination mit Lasersystemen**

Endoskopie

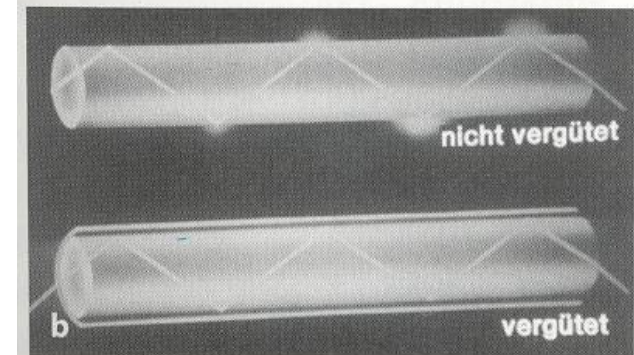
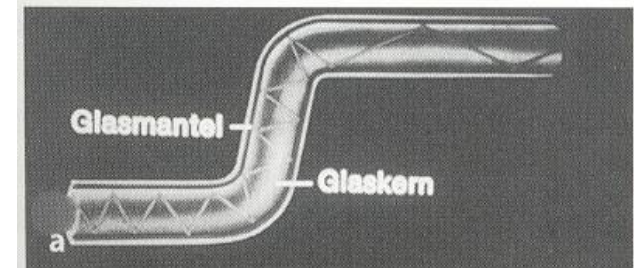
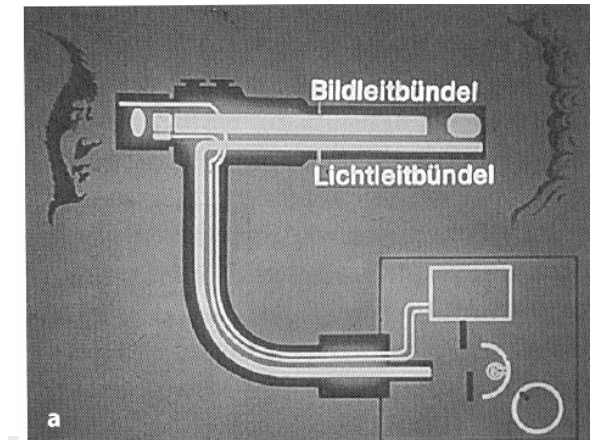
- Endoskopie
 - Starre Endoskope
 - Lichtübertragung
 - Bildübertragung
 - Anwendungen
 - Flexible Endoskope
 - Bildübertragung
 - Anwendungen
 - Trends



Quelle: Kramme, 2002

Starre Endoskope - Lichtübertragung

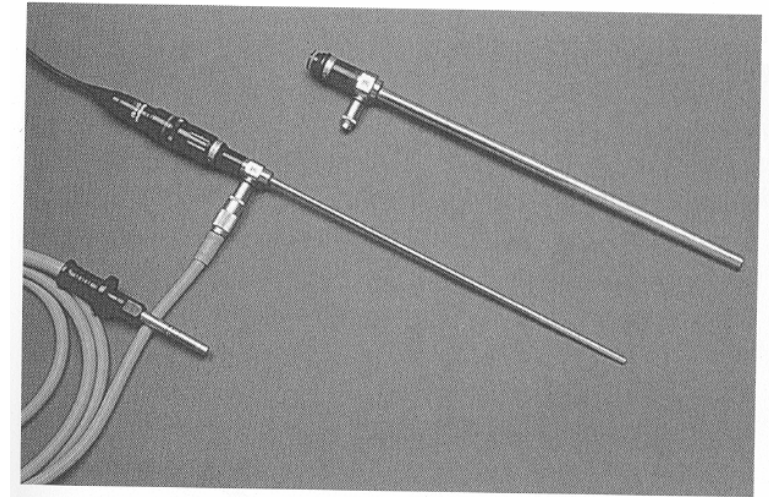
- Externe Kaltlichtquelle
- W-Xenonlampe
- Halogenlampe
- 250W – 400W
- Aktive Luftkühlung
- Optische Filterung
- Übertragung im Lichtleiterbündel
- 25.000 – 30.000 ungeordnete Einzelglasfasern



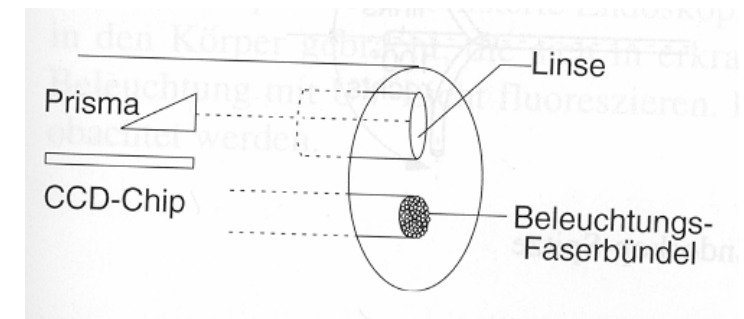
Quelle: Kramme, 2002

Starre Endoskope - Bildübertragung

- **Linsenendoskope**
 - Kette von Linsen
 - Stablinsen
 - 1:1 Abbildung des Bildes
 - Aufsetzbare Videokamera
 - Prisma für schräge Optik
 - 0°, 30°, 45°, 70°
 - Hohe Lichtausbeute
- **Videoendoskope**
 - Sterilisation problematisch
- 2mm – 10mm Durchmesser
- 30cm – 40cm Länge



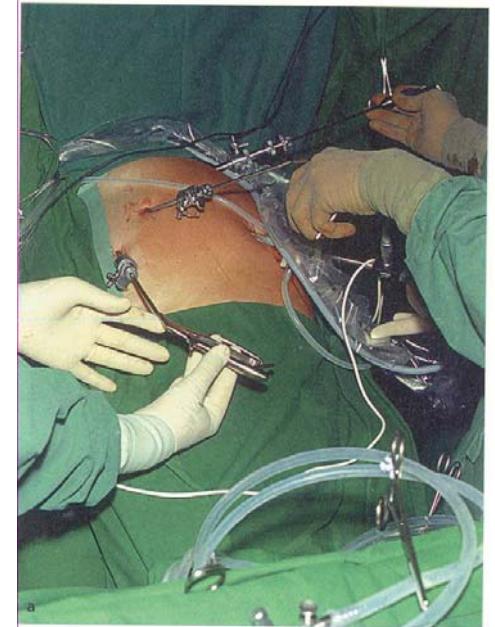
Quelle: Kramme, 2002



Quelle: Dössel, 2000

Starre Endoskope - Anwendung

- Bauchhöhle, Bauchorgane (Laparoskopie)
- Nase und Rachen (Rhino-Endoskopie)
- Nasen-Nebenhöhlen (Antroskopie)
- Ohr (Ohr-Endoskopie)
- Atemwege, Brusthöhle (Bronchoskopie)
- Gelenkhöhlen (Arthroskopie)
- Gynäkologische Eingriffe (Pelviskopie)
- Neurochirurgie

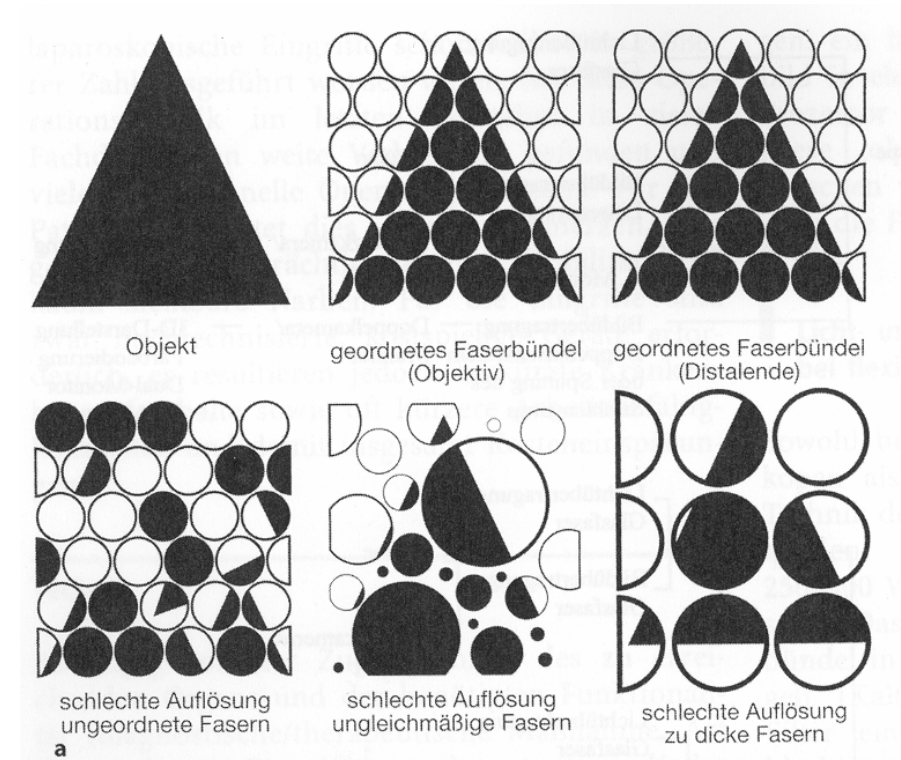
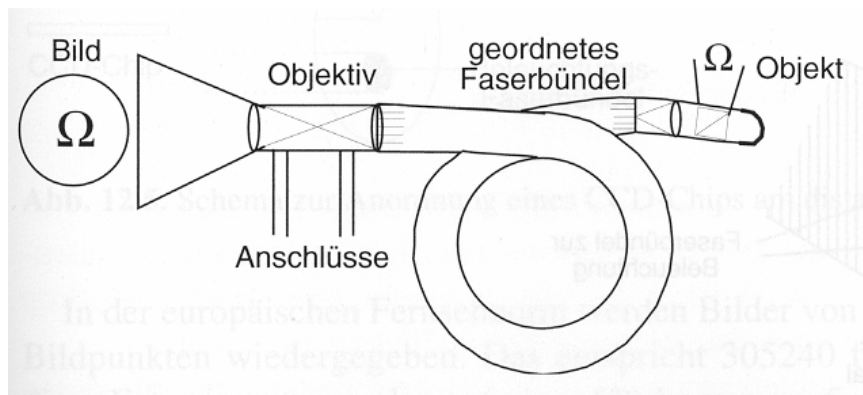


Quelle: Kramme, 2002

Quelle: MiMed

Flexible Endoskope - Bildübertragung

- Geordnetes Glasfaserbündel
- 7 μ m – 10 μ m
Faserdurchmesser
- ca. 40.000 Lichtfasern
- Fixfokus 5mm – 35mm
Objektabstand
- Auflösung bis 7,5 Linien/mm

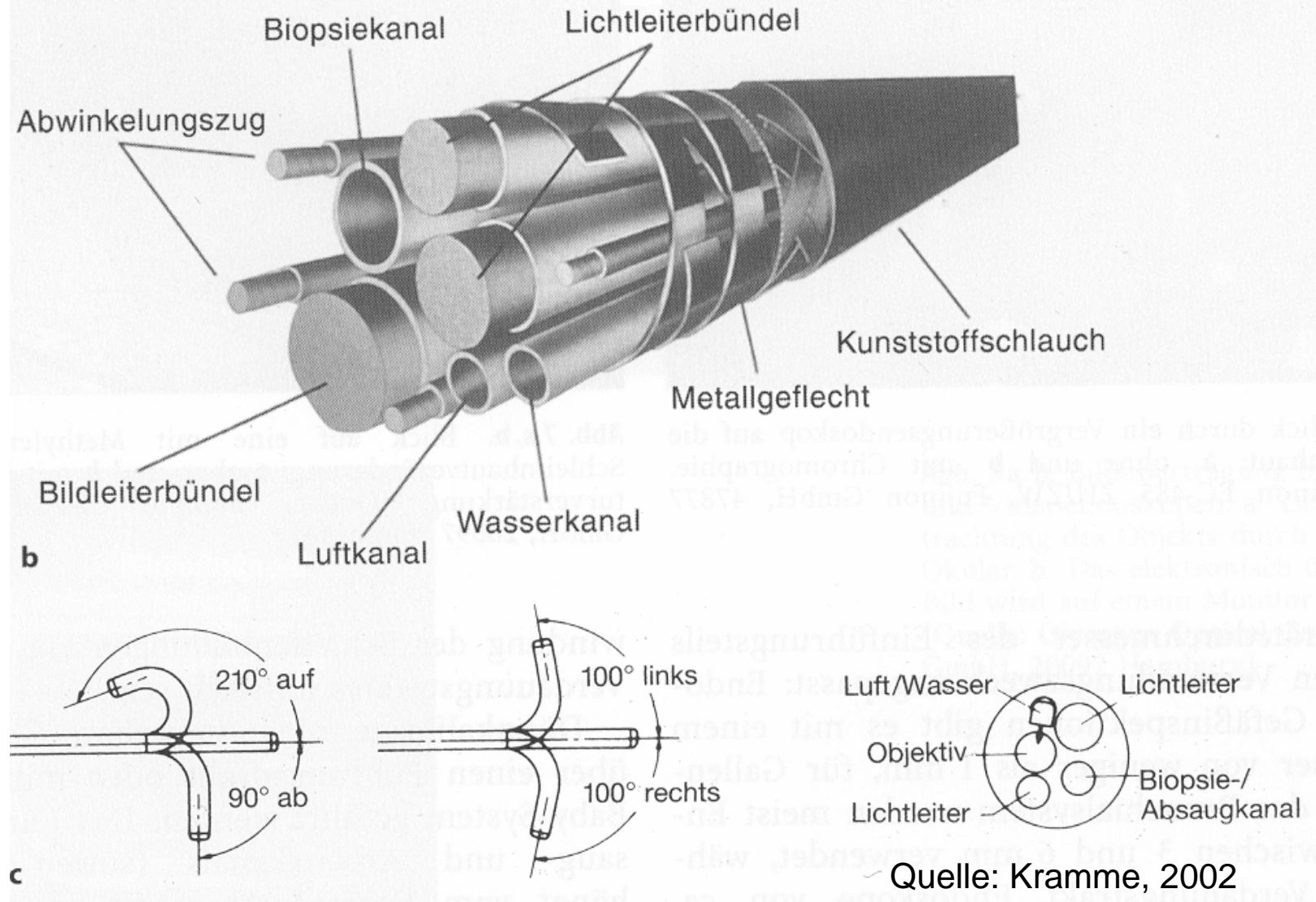


Quelle: Kramme, 2002

Quelle: Dössel, 2000

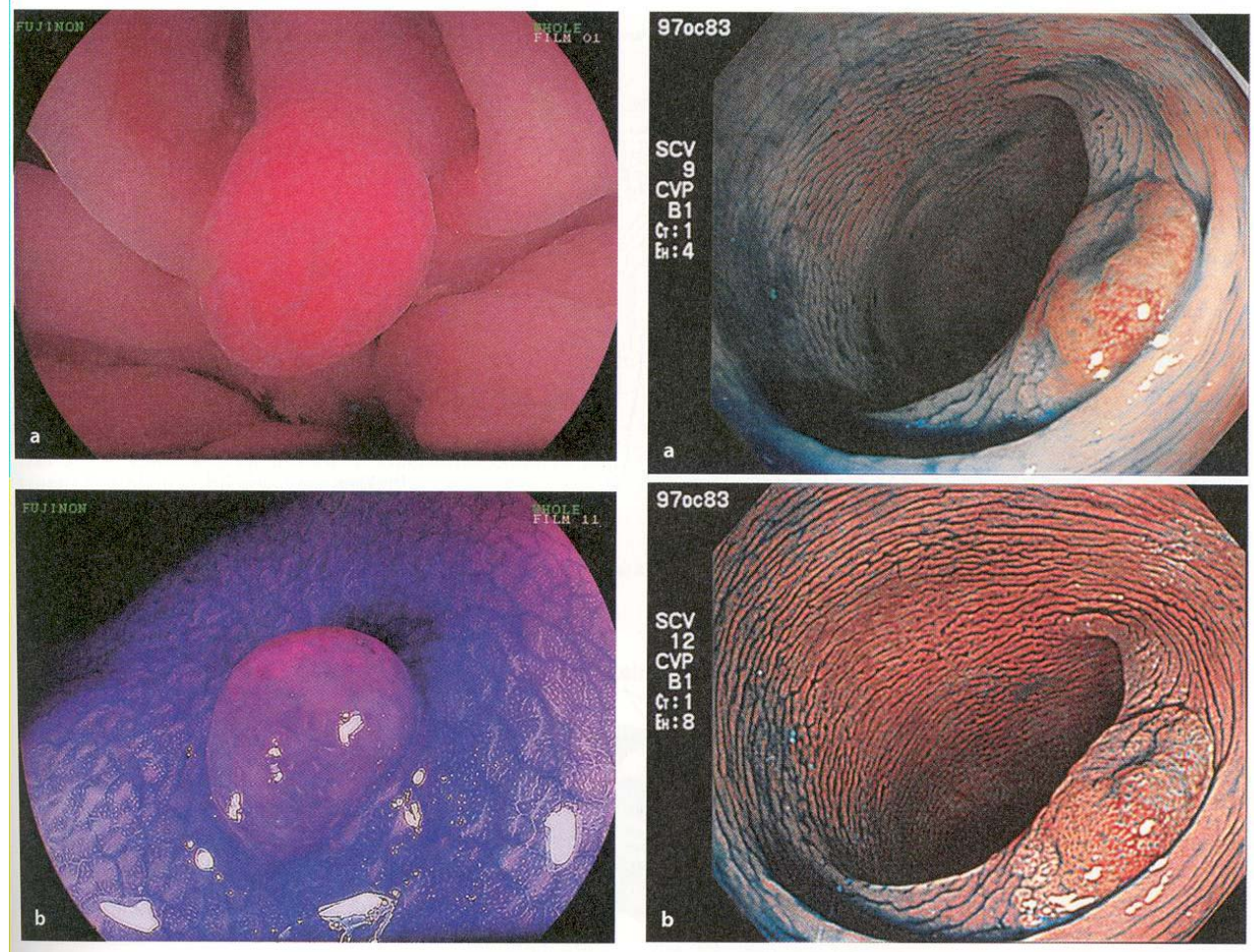
Flexible Endoskope - Aufbau

- Durchmesser 3mm – 16mm
- Länge 90cm – 250cm
- Biegeradius ca. 10mm



Flexible Endoskope - Anwendung

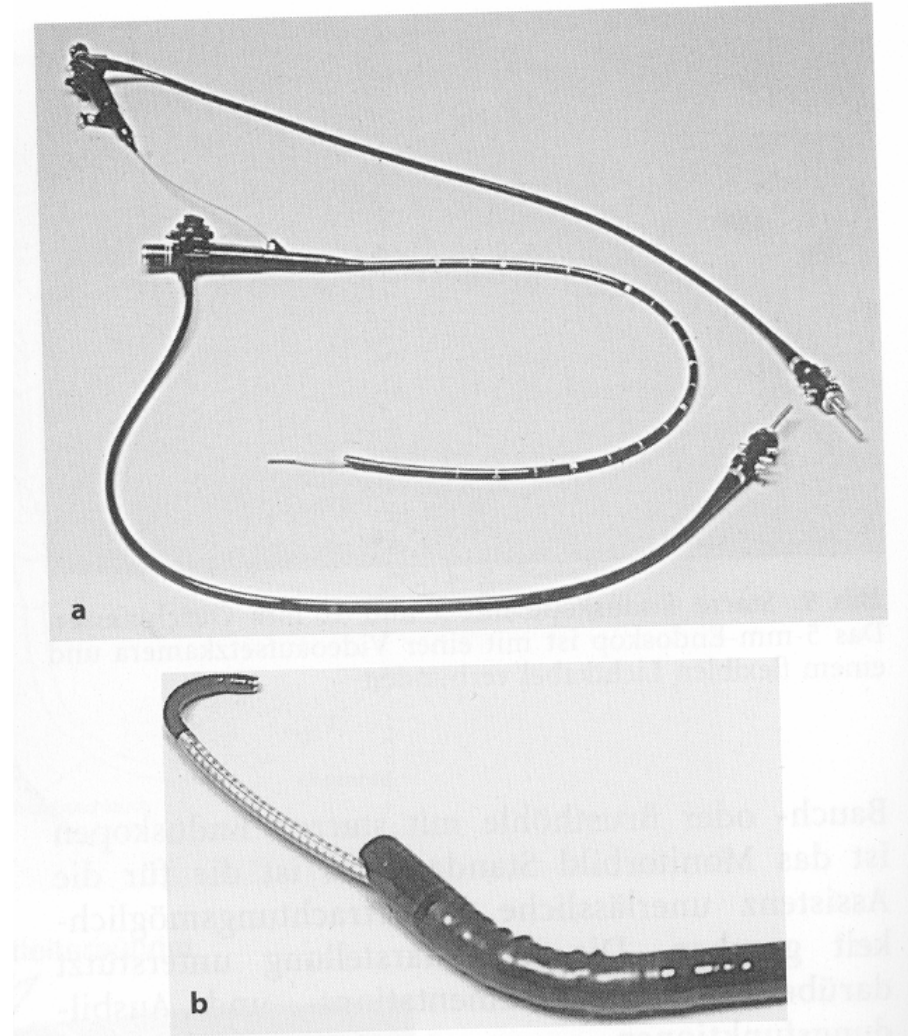
- Speiseröhre (Oesophgoskopie)
- Magen (Gastroskopie)
- Zwölffingerdarm (Duodenoskopie)
- Dickdarm (Koloskopie)
- Atemwege (Bronchoskopie)
- Gallenwege (Cholangioskopie)
- Harnwege
- Blutgefäße (Angioskopie)



Quelle: Kramme, 2002

Endoskopie - Trends

- Binokular Endoskope
 - 3D-Endoskope
 - Mother – Baby – Endoskope
 - Autofluoreszenzspektroskopie
 - Infrarotendoskopie
 - Magnetresonanzenzendoskopie
-
- Sterilisierbarkeit ist nach wie vor Herausforderung



Quelle: Kramme, 2002

Röntgensysteme

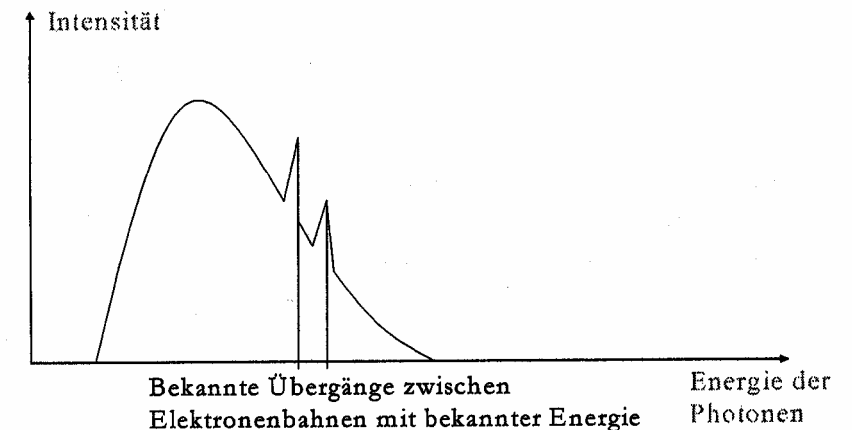
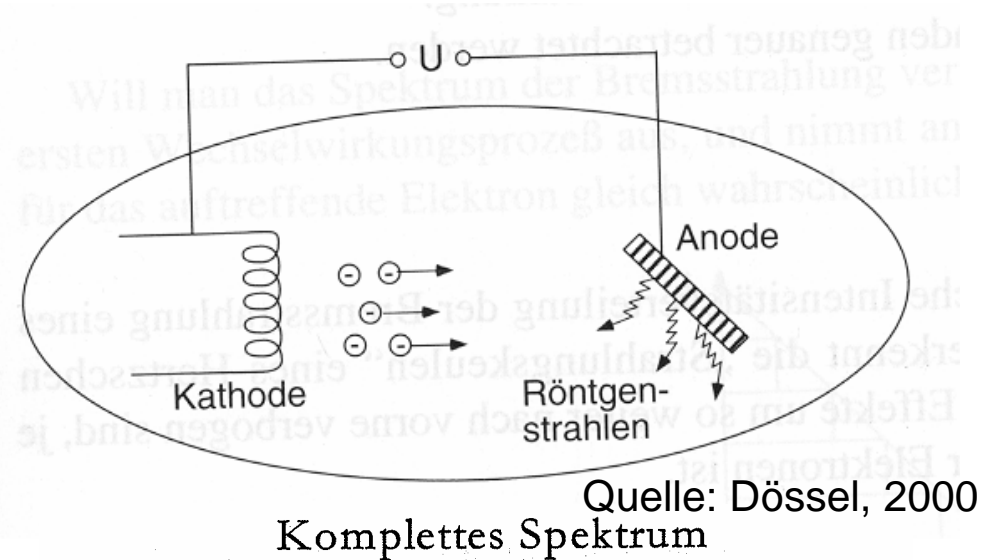
- **Physikalische Grundlagen**
- **Erzeugung von Röntgenstrahlen**
- **Abschwächung**
- **Wandlung**
- **Systeme**
- **Anwendungen**
- **Trends**

Ionisierende Strahlung

- Röntgenstrahlung
 - α -, β - und γ -Strahlung
 - Neutronenstrahlung
-
- Besitzen ausreichend Energie um Ionisation auszulösen
 - Getroffenes Molekül wird um mehrere zehntausend Grad erhitzt und gibt ein Elektron ab.

Erzeugung von Röntgenstrahlen

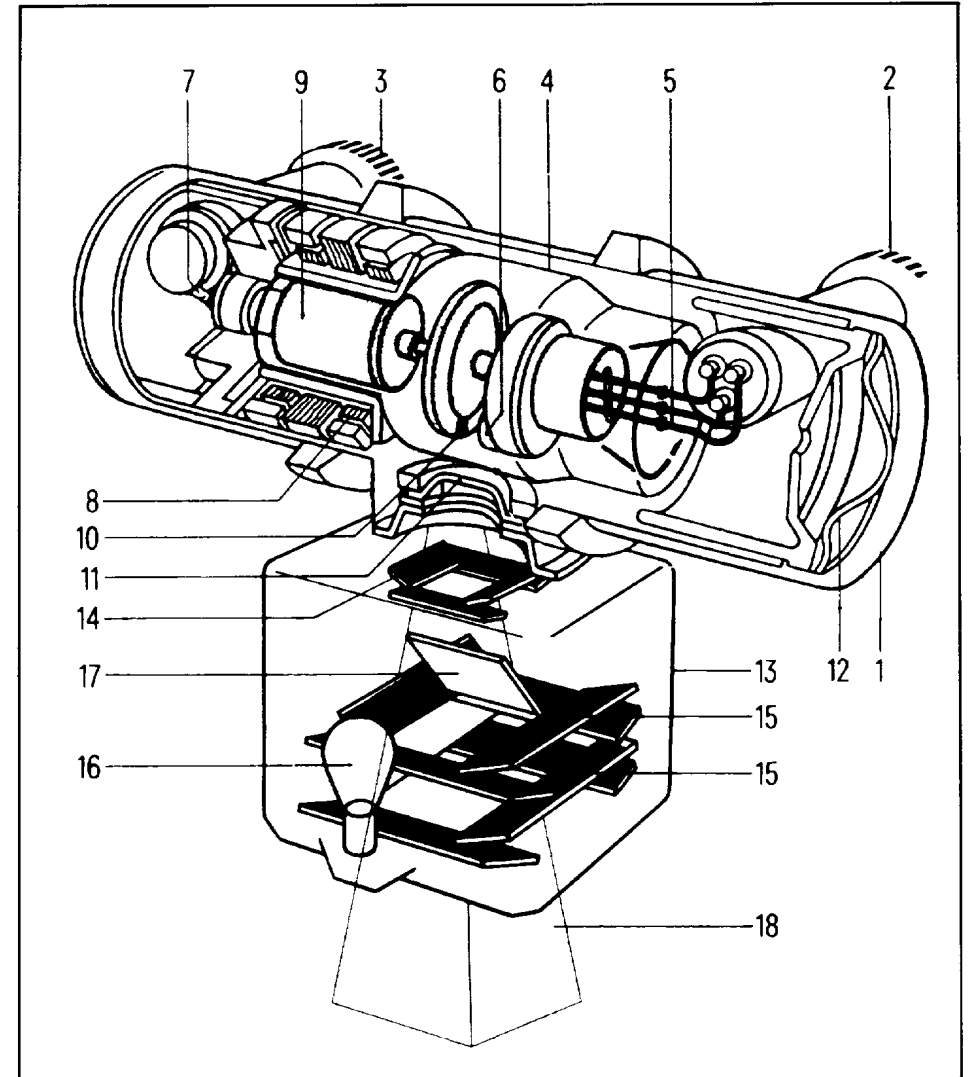
- Beschleunigte Elektronen treffen auf Anode
- Schnelle Elektronen werden am Trägermaterial abgebremst -> Bremsstrahlung
- Photonenverteilung ist abhängig von
 - Röhrenspannung
 - Anodenstrom
 - Zusätzliche Filterung (Cu oder Al)



Quelle: LPS, 2004

Aufbau Röntgenröhre

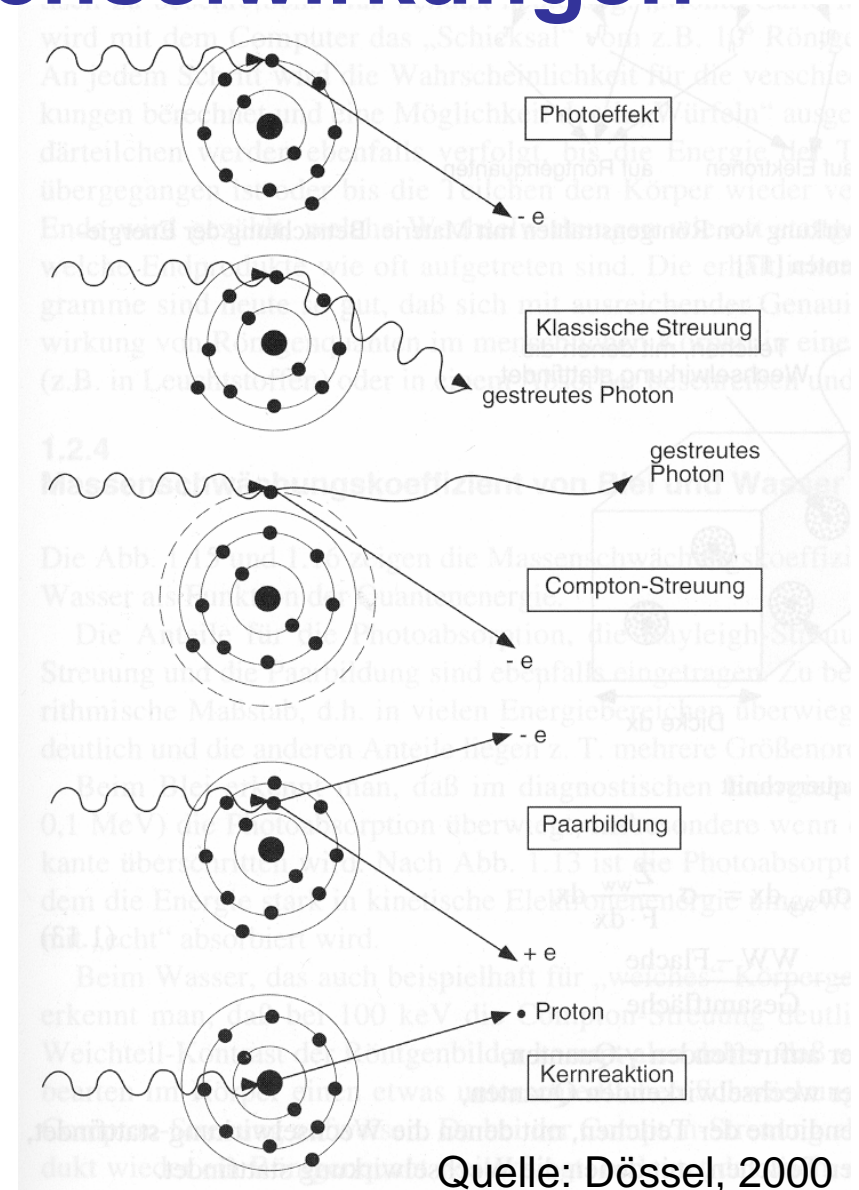
- 1) Ölgefülltes Gehäuse
- 4) evakuierter Glaskolben
- 6) Kathode
- 10) Drehanodenteller
- 11) Strahlenaustrittsfenster
- 13) Tiefenblende
- 14, 15) Lamellen
- 18) Nutzstrahl
- 17) Spiegel
- 16) Lampe



Quelle: Lehman, 1997

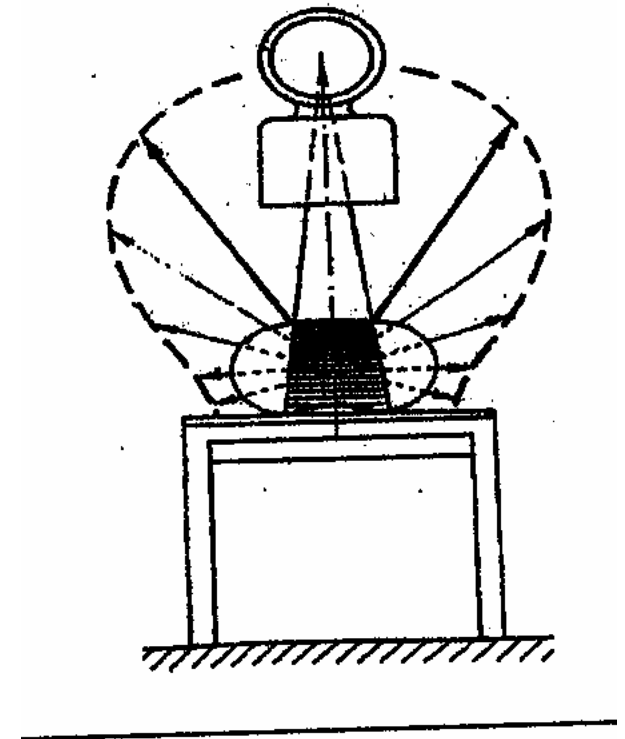
Röntgenstrahlung Wechselwirkungen

- Photoeffekt ist erwünschter Effekt
- Streunung verschlechtert die Bildqualität
- Paarbildung und Kernreaktion treten beim diagnostischen Röntgen nicht auf.



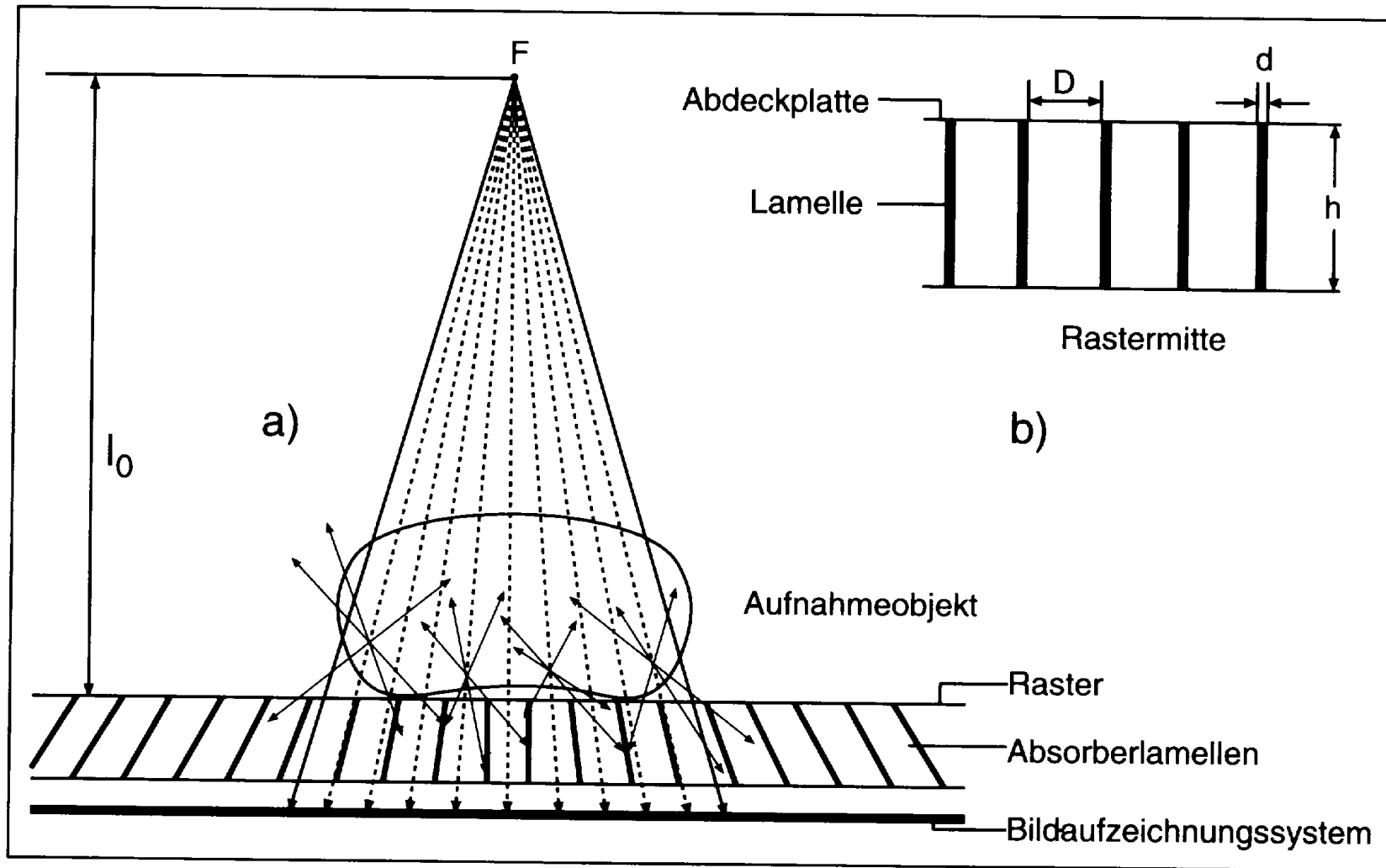
Streunung von Röntgenstrahlen

- Streunung wird vor allem durch Wasser Erzeugt
- Größter Anteil der Streustrahlung geht zurück zur Strahlenquelle



Quelle: LPS, 2004

Streustrahlenraster

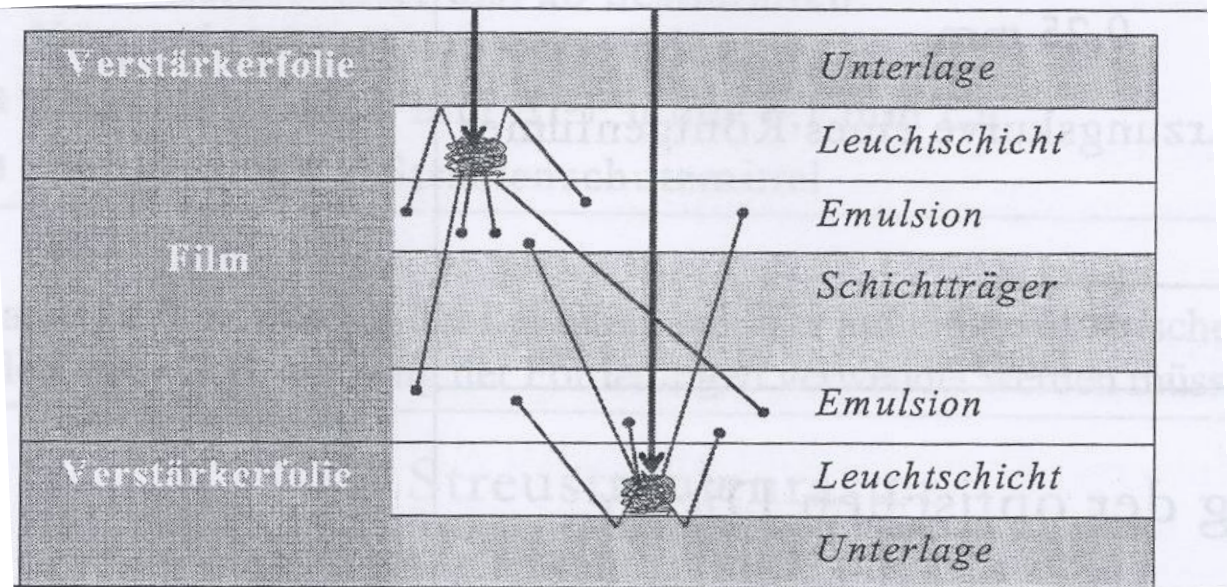


Quelle: Lehman, 1997

Wandelung - Filmaufbau

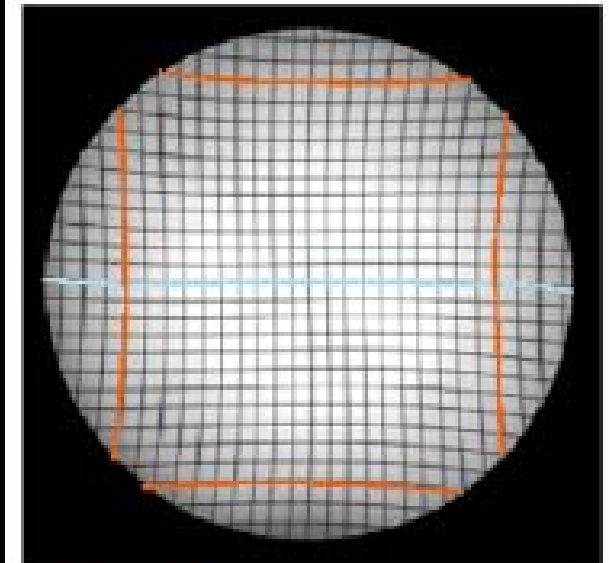
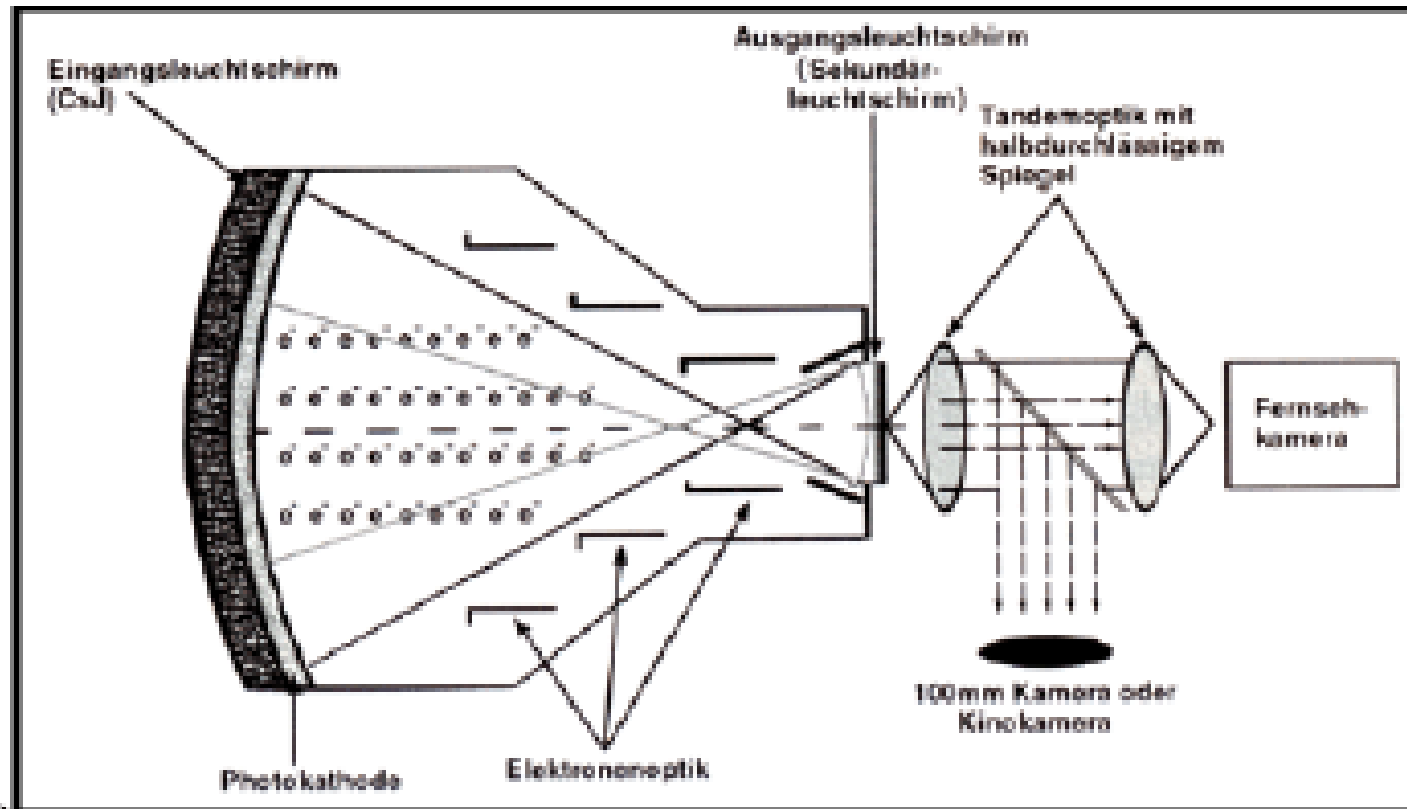
Quelle: LPS, 2004

- Wandelung der Röntgenquanten in sichtbares Licht (Szintillator)
- Belichtung des Fotofilms
- Zusätzliche Belichtung von der Rückseite



Quelle: MiMed

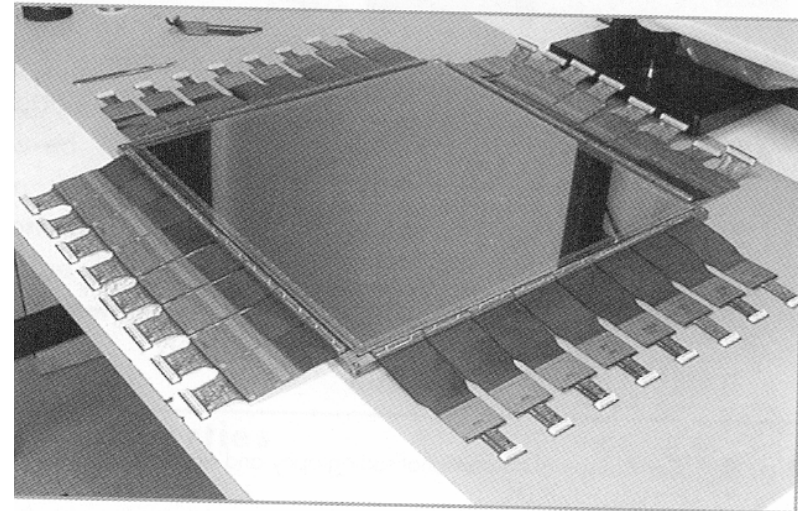
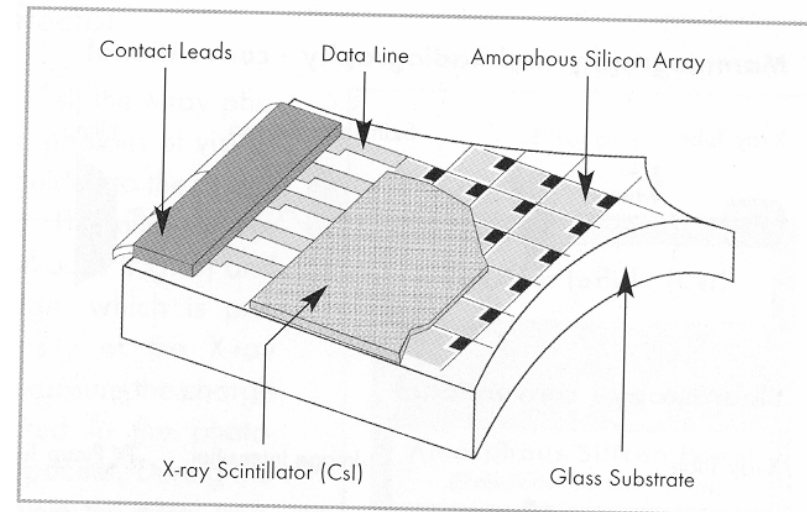
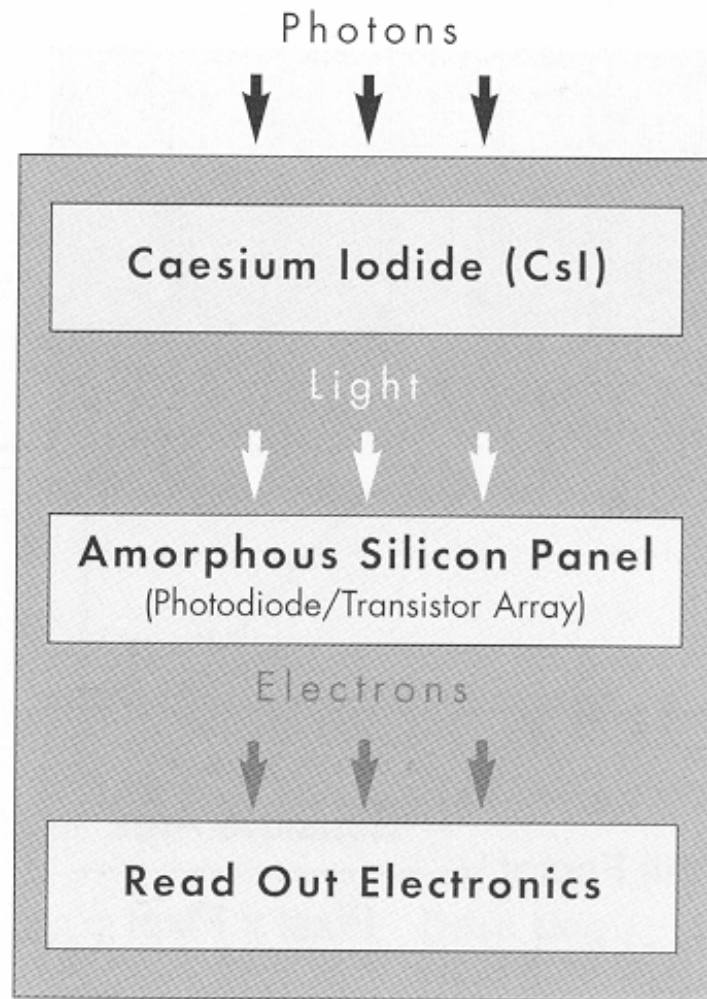
Wandelung - Bildverstärker



— Kissenverzerrung (BV)
— Ablenkung der elektromagnetischen Strahlung

Quelle: Loewenhardt, 2001

Wandelung - Flachbilddetektor



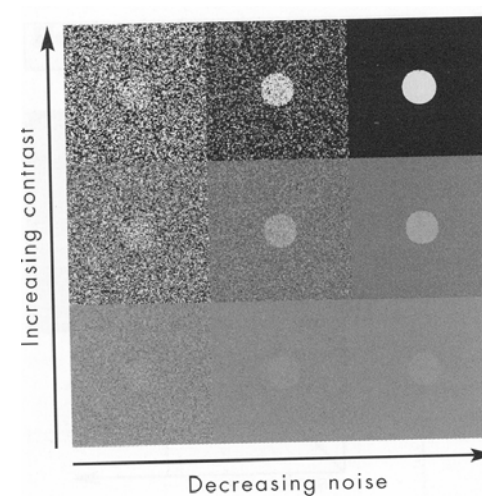
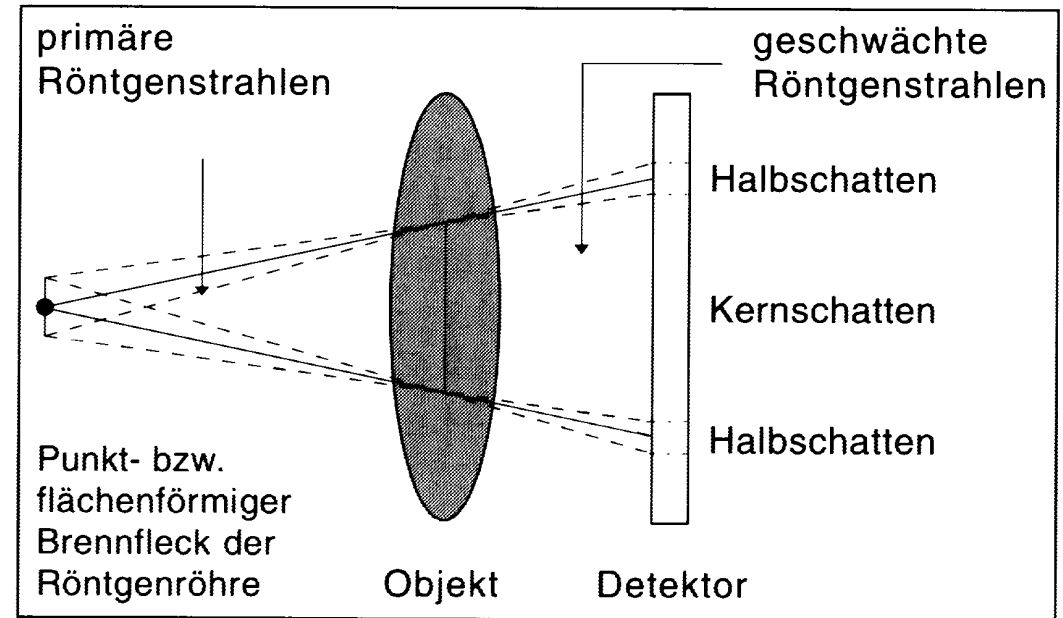
Quelle: Niederlag, 2002

Wandelung Vergleich

	Film-Folie	Bildverstärker	Flachbilddetektor
Verfügbarkeit	5-10min	sofort	sofort
Auflösung	hoch	gering	hoch
Verzerrung	keine	Kissen/Magnetfeld	keine
Dynamik	mittel	gering	hoch
Kosten	gering	mittel	hoch
Größe	bis 40x40cm	Ø200 – 300 cm	bis 40x40cm

Bildqualität und Artefakte

- Projektionsverzerrungen durch Aufweitung des Strahlenbündels
- Verwaschungen durch endlichen Durchmesser der Strahlenquelle
- Limitationen durch Charakteristik des Sensors
 - Ablenkung durch Erdmagnetfeld
 - Kisseneffekte
 - Auflösung
 - Kontrast/Rauschen

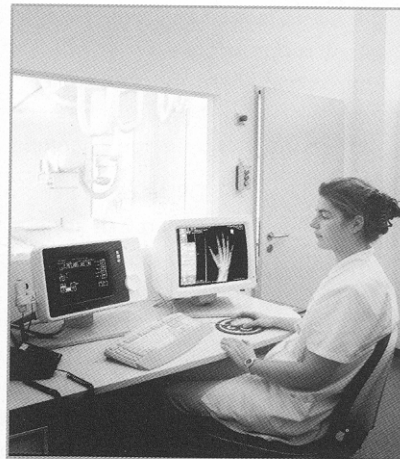
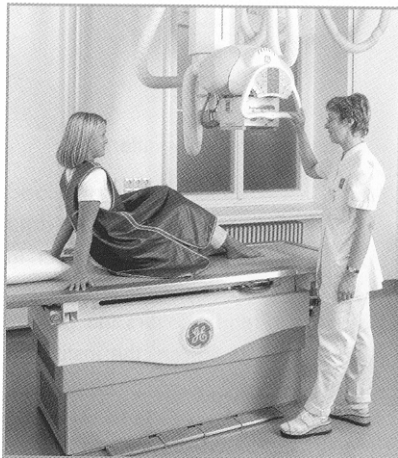
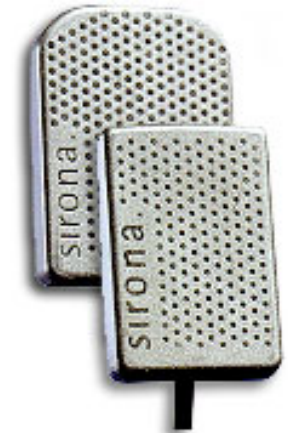


Quelle: Lehman, 1997

Quelle: Niederlag, 2002

Systeme

- Röntgenstrahler und digitale Sensoren (Sirona, www.sirona.de, 2001);
- Digitaler Diagnosplatz Revolution XR/d (GE Medical System)
- C-Bogen Vario (Ziehm, www.ziehm-eu.com, 2003)



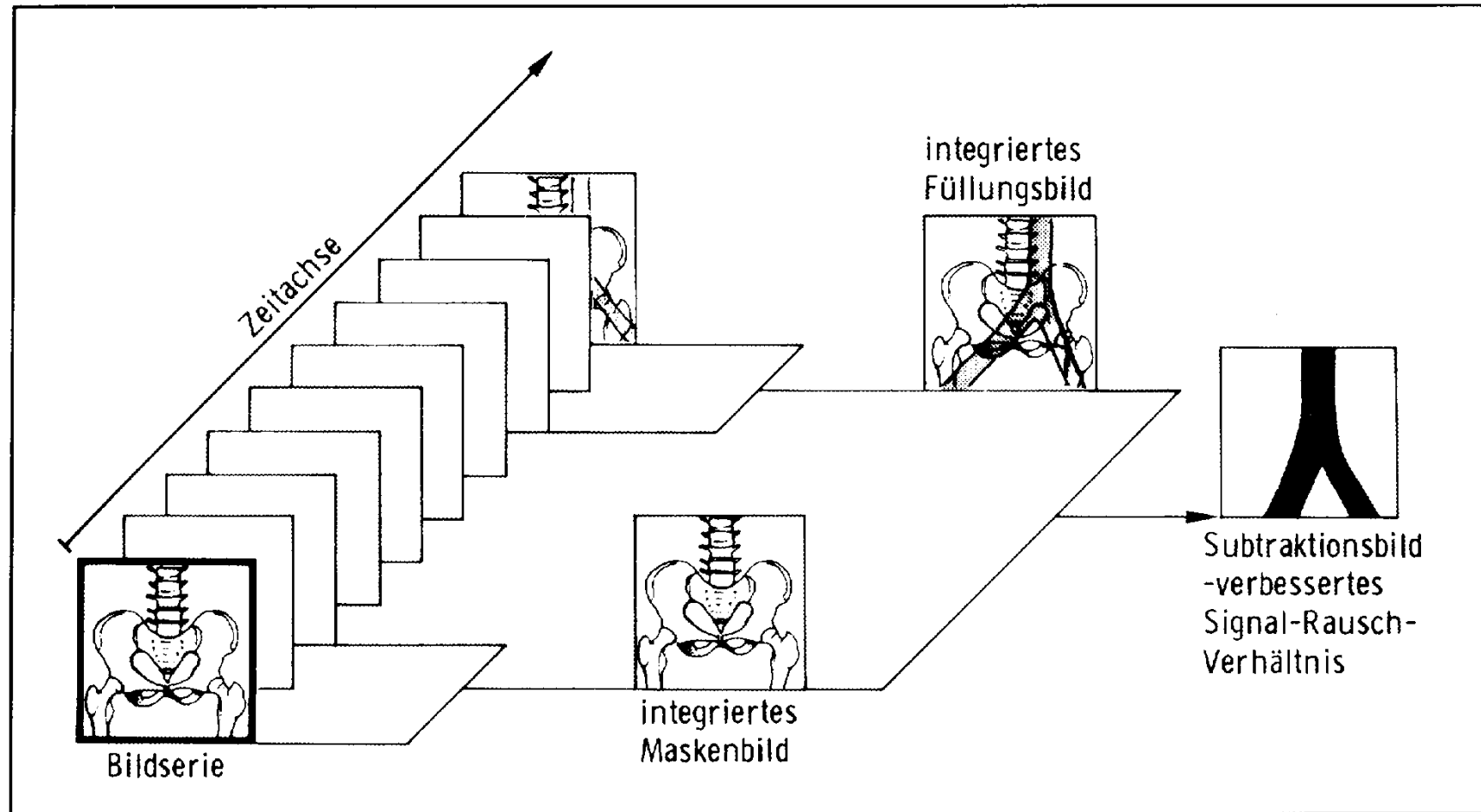
Anwendungen

- Diagnose
- Intraoperative Kontrolle
- Bildgestützte Eingriffe
- Gefäßdarstellung



Quelle: MiMed

Angiographie



- Gefäßdarstellung durch Kontrastmittelgabe
- Subtraktion der zeitlichen Bilder

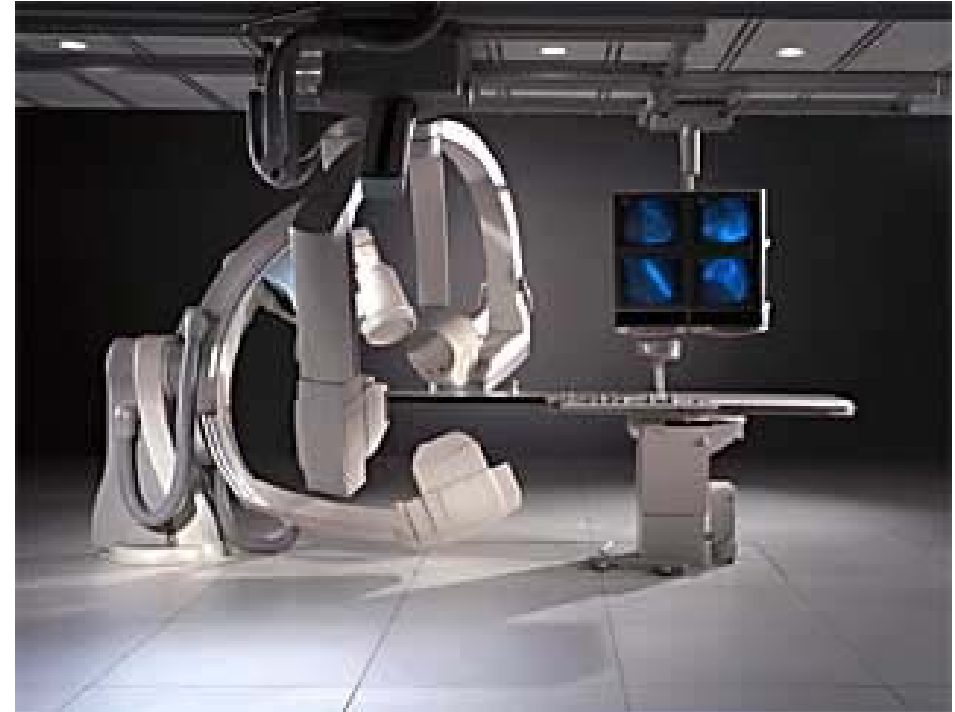
Quelle: Lehman, 1997

Angiographiesysteme - 1 Ebene



Philips Integris H 5000 F System (Quelle: www.philips.com, 2001)

Angiographiesysteme - 2 Ebenen

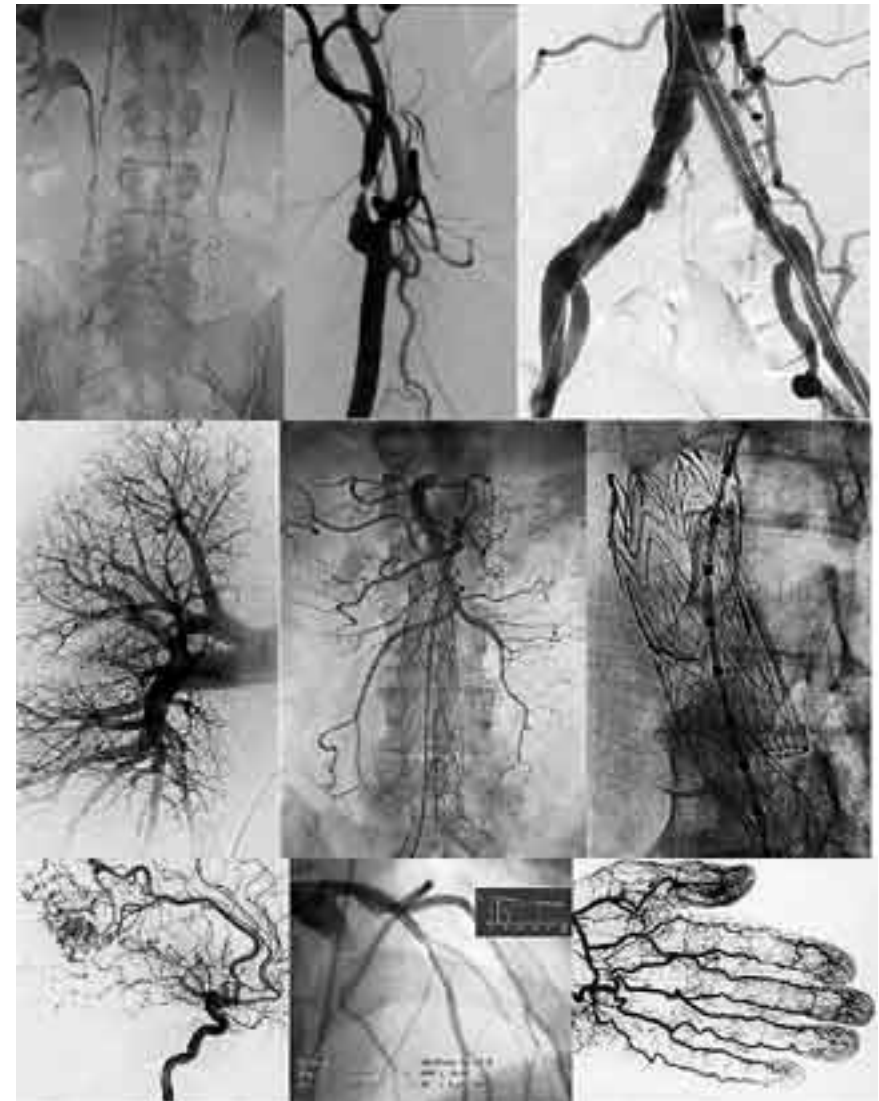


Philips Integris BH 5000 System (Quelle: www.philips.com, 2001)

Bilder von Angio-Aufnahmen



3D-rekonstruierte Bilder (oben)
und 2D-Bilder von verschiedenen
Körperteilen (Quelle:
www.philips.com, 2001)



Trends - Röntgen

- **Erweiterter Einsatz der Digitalen Technik**
- **Minimierung der Strahlendosis durch bessere Sensoren**
- **Digitale Detektoren an mobilen Geräten**
- **Kombination mit 3D Technik -> 3D – C-Bogen**

Ultraschall

- **Begriffe**
- **Prinzip**
- **Grundlagen**
- **Scanmodi**
 - **A-Scan**
 - **B-Scan**
 - **Doppler**
- **Sondenaufbau**
- **Anwendungen**
- **Trends**

Ultraschall

- **Echtzeitdarstellung von Schnittbildern**
- **Keine bekannten Nebenwirkungen**
- **Prinzip: Reflexionen an Grenzflächen**
- **Frequenzen 2,2-10 MHz**
- **Modi (A-Mode-, B-Mode- und M-Mode-Verfahren)**
- **Dopplereffekte**

Begriffe

- **Sonographie**

Diagnostik der inneren Organe - hauptsächlich Oberbauch, Unterbauch und Halsorgane

- **Echokardiographie**

Diagnostik des Herzens

- **Doppler**

Funktionsdiagnostik des Blutflusses in Herz und Gefäßen durch Bestimmung der Blutgeschwindigkeit mit dem Ultraschall dopplerverfahren

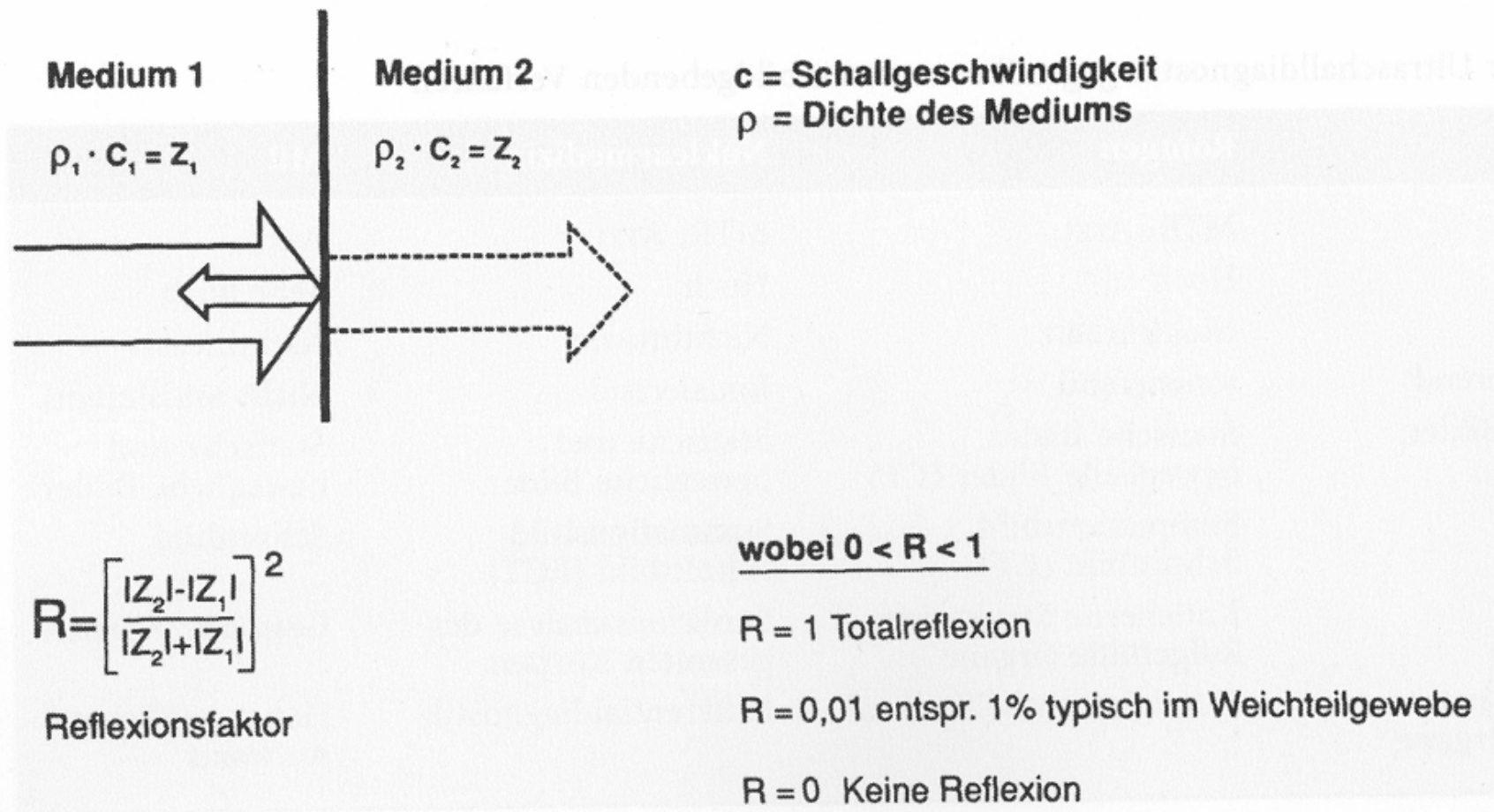
Prinzip

- Ultraschallsender und -empfänger sind in einer Einheit zusammengefaßt um einfache Bedienung zu gewährleisten
- D.h. *Reflexionsverfahren* im Gegensatz zu *Transmissionsverfahren* wie Röntgen
- Schall wird in Impulsen ausgesendet (1:1000 Verhältnis von Senden zu Empfangen) \Rightarrow Pulsverfahren
- Reflexion idealerweise ca. 1% der ausgesendeten Wellen \Rightarrow Vermeidung von Totalreflexion besonders an Grenzfläche zwischen Luft und Gewebe (Ultraschallgel)

Wechselwirkungen

- **Reflexion/Transmission:** zur Bildrekonstruktion notwendige Reflexion ca. 1 %
- **Interferenz:** Überlagerung von Wellen führt zu Verstärkung oder Auslöschung
- **Brechung:** Falsche Lageinformation (bei Weichgewebe vernachlässigbar)
- **Beugung:** Hineinbeugen von Wellen in den Schatten von Objekten
- **Streuung:** statt Reflexion werden Wellen an Objekten, die kleiner als Wellenlänge sind, diffuse Streuung erzeugt
- **Absorption:** exponentielle Abnahme der Intensität entlang der Eindringrichtung (abhängig von Frequenz)

Grundlagen



Quelle: Kramme, 2002

Reflexionsfaktoren

Wasser (Gel)
 $Z_1 = 1,49$

Z_2

Wasser 1,49
Medium X 1,48
Muskel 1,63
Knochen 6,12
Aluminium 18
Luft 0,0043

R

$R_w = 0$
 $R_x = 0,00001$
 $R_m = 0,002$
 $R_k = 0,37$
 $R_a = 0,71$
 $R_l = 0,98$

ΔZ klein

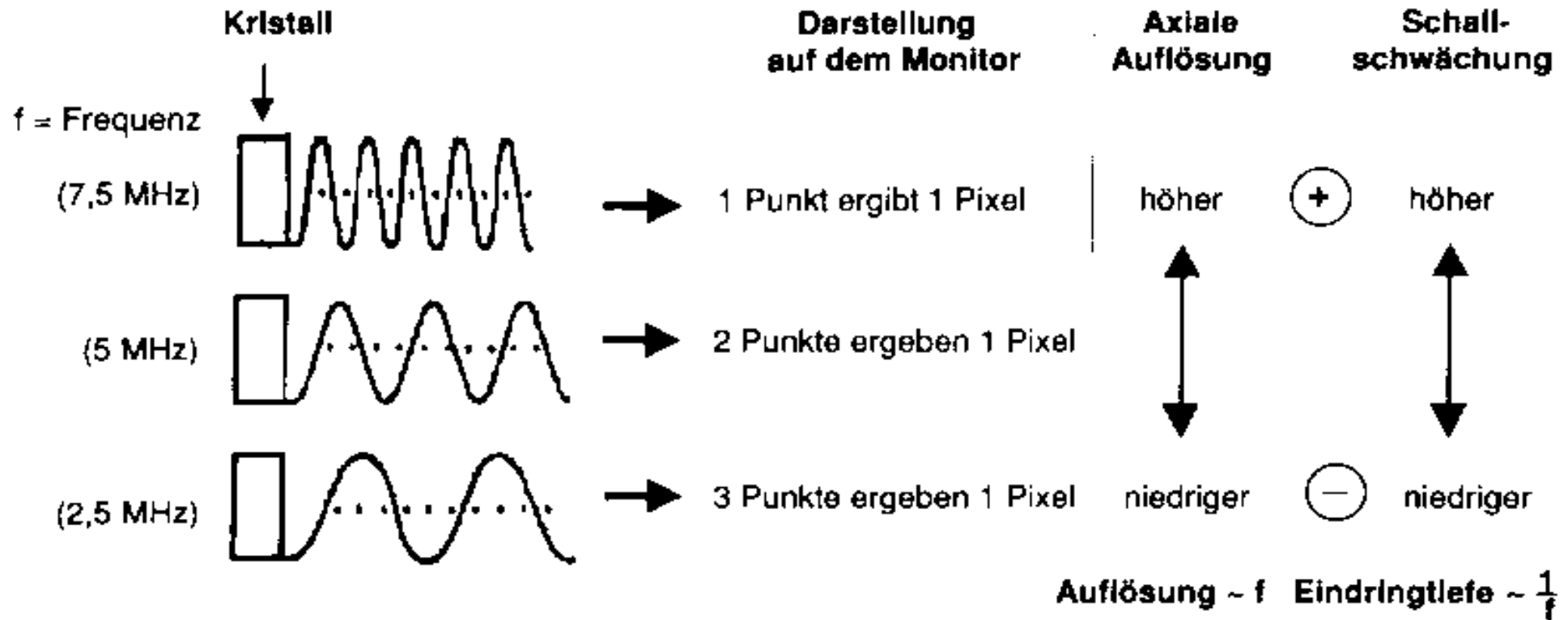
**Keine
Reflexion**

**Total-
reflexion**

ΔZ groß

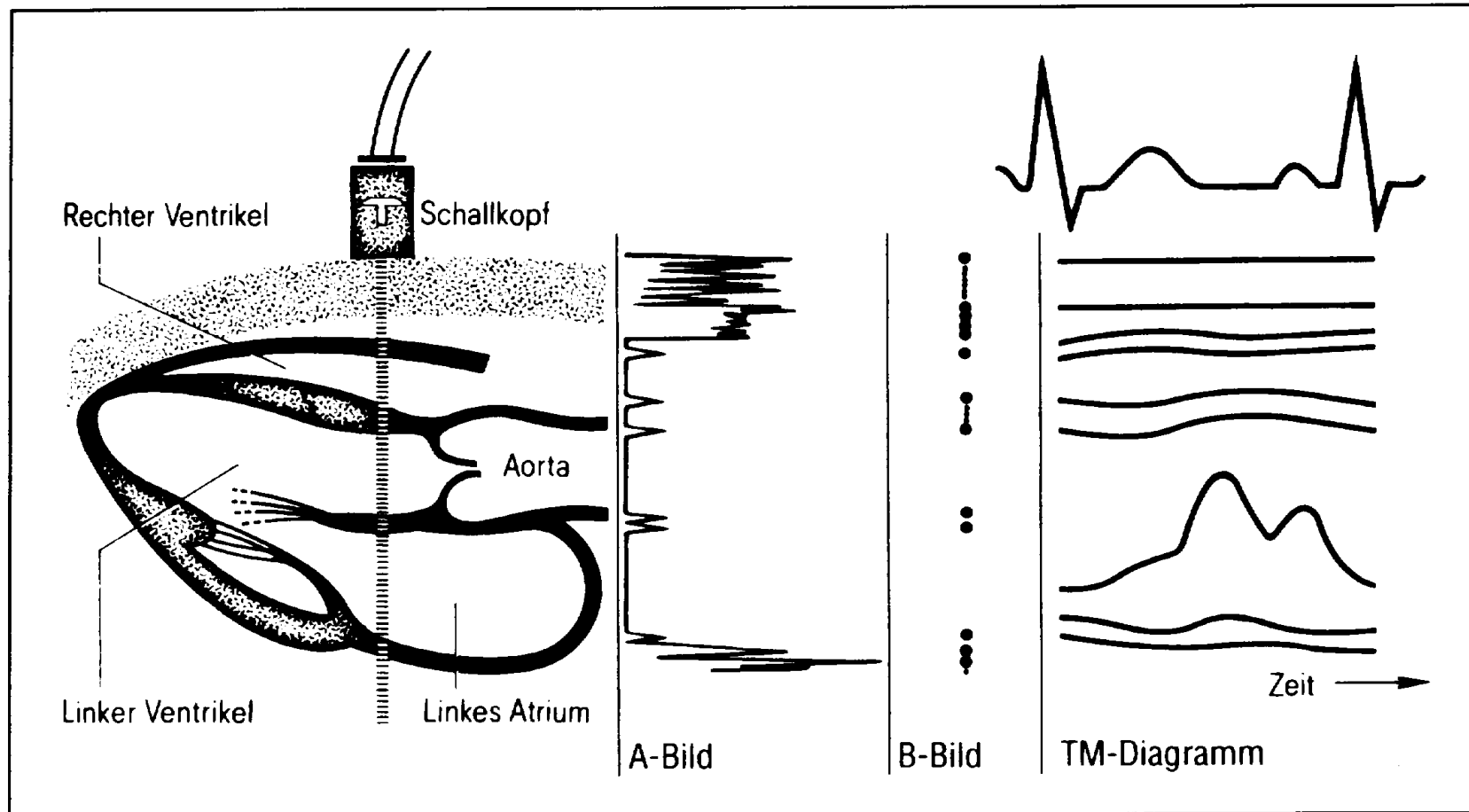
Quelle: Kramme, 1997

Eindringtiefe - Auflösung



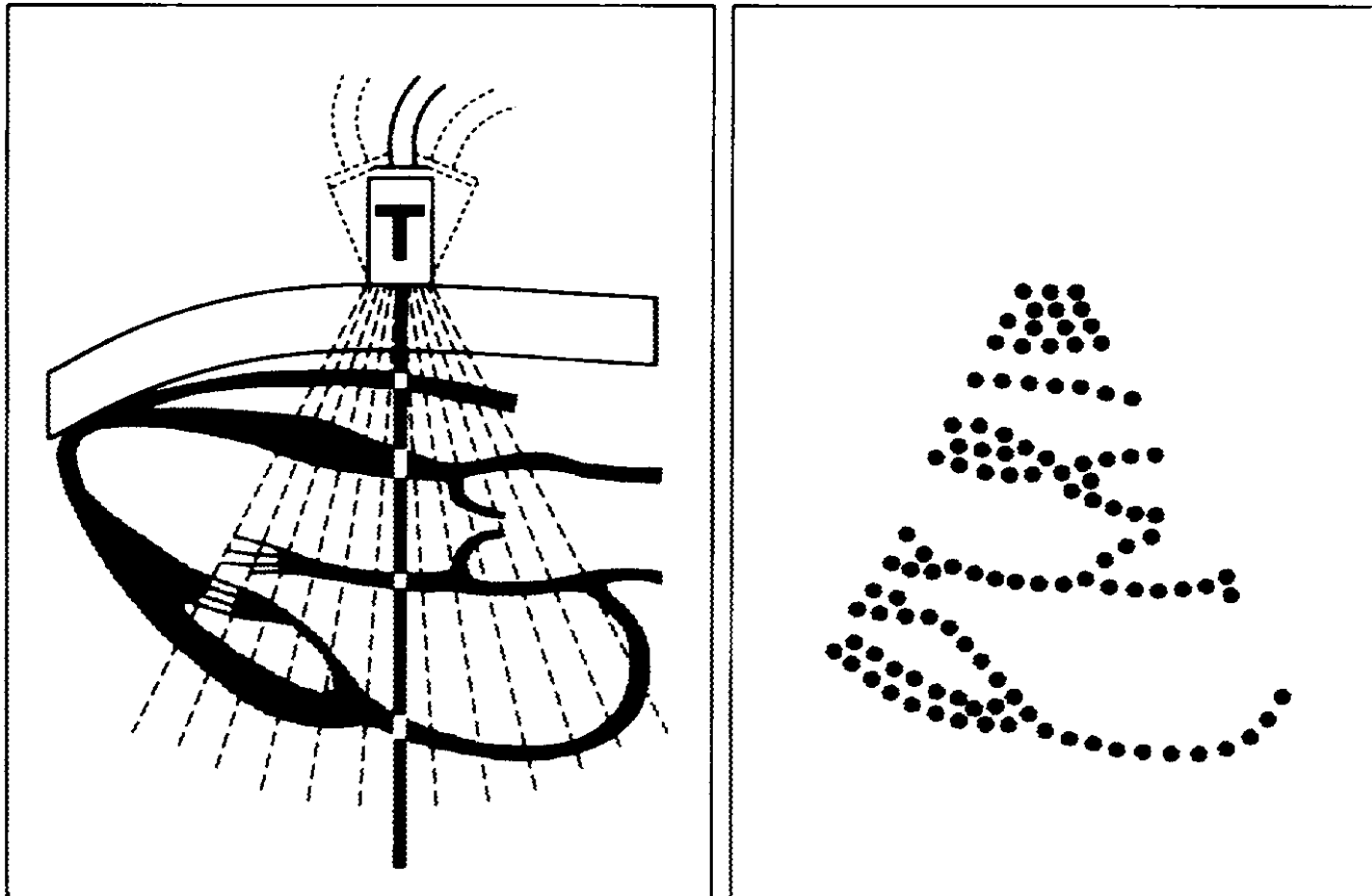
Quelle: Kramme, 1997

Sonographie-Scanmodi



Quelle: Lehman *et al.*, 1997

B-Mode-Verfahren (2D)



Quelle: Lehman *et al.*, 1997

Dopplerverfahren

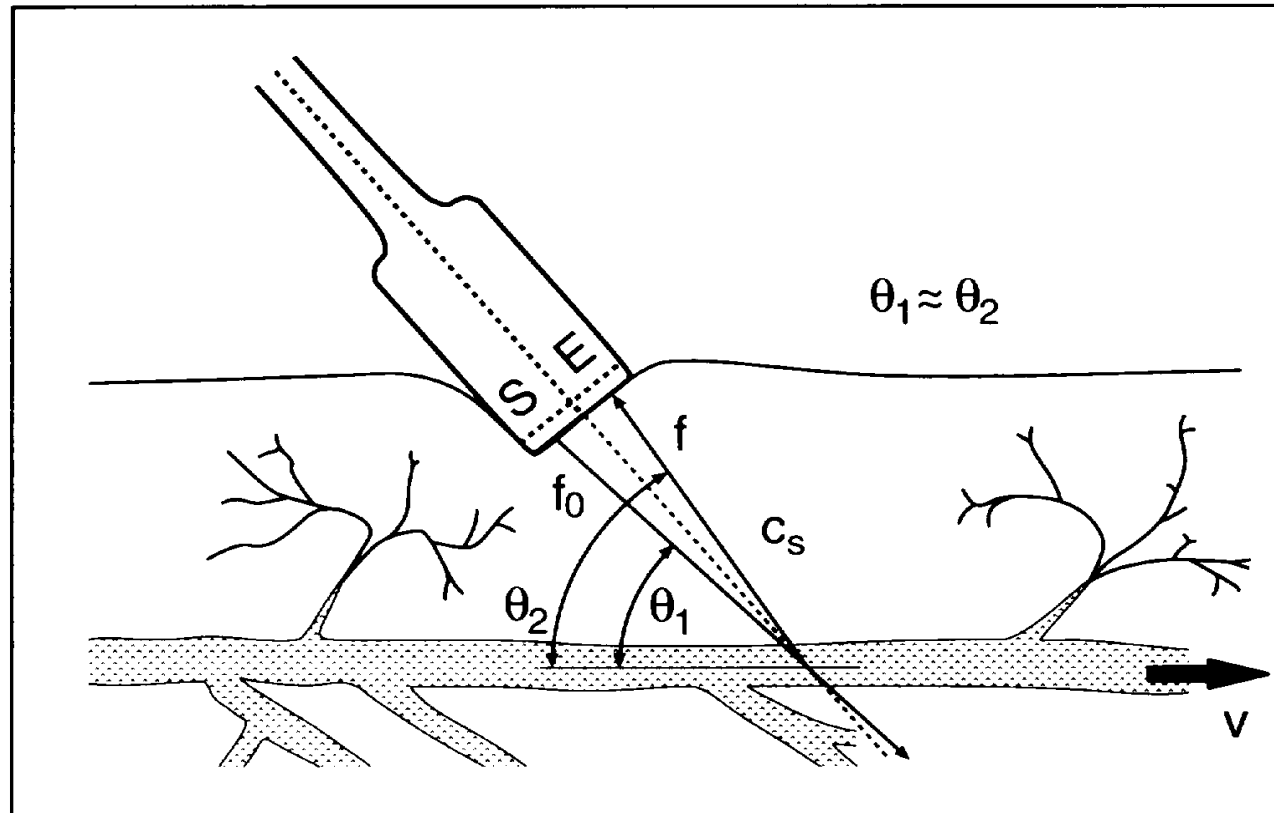
Verfahren mit oder ohne Duplex-Betrieb

Duplex: Überlagerung von Sample-Punkt für Blutgeschwindigkeitsmessung mit B-Mode-Bild

Arten:

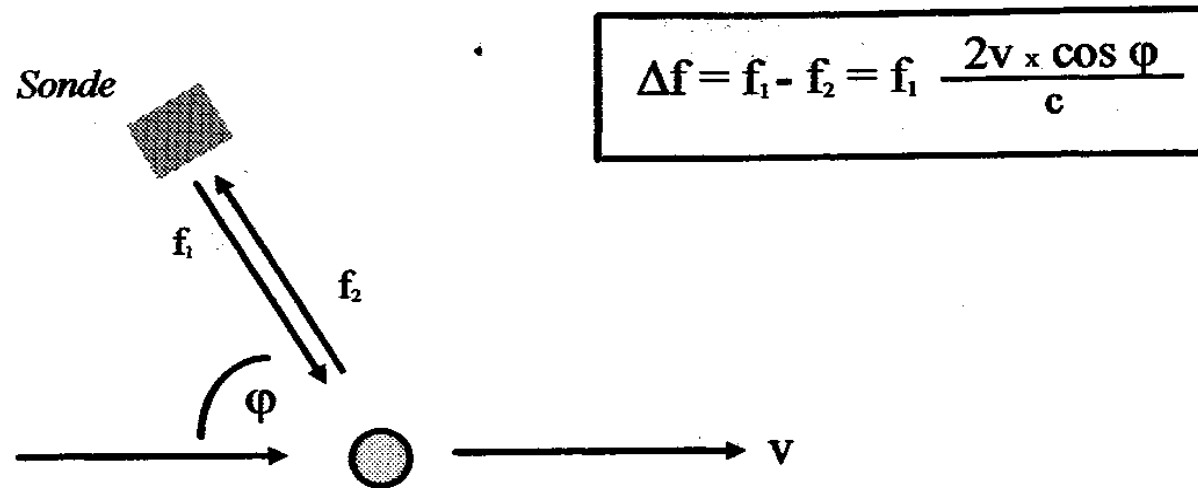
- pw-Doppler (*pulsed-wave*-Doppler): Geschwindigkeitsmessung wie bei A-, B- oder M-Mode mit Impulsen an einer Stelle (Sample) \Rightarrow geringe Geschwindigkeit und Alias-Effekte
- cw-Doppler (*continuous-wave*-Doppler): zwei getrennte Kristalle zur US-Erzeugung und -Empfang \Rightarrow hohe Geschwindigkeit aber keine Tiefenselektion
- Farbdoppler: wie pw-Doppler aber mehrere hundert Samples

Dopplereffekt



Quelle: Lehman *et al.*, 1997

Bestimmung der Flußgeschwindigkeit



f_1 = Sendefrequenz

f_2 = Empfangsfrequenz

Δf = gemessene Dopplershift

v = Geschwindigkeit des Zielteilchens

φ = Einfallswinkel zwischen Schallrichtung und Bewegungsrichtung des Zielteilchens

c = Schallgeschwindigkeit

Quelle: Kramme, 1997

Sondenaufbau

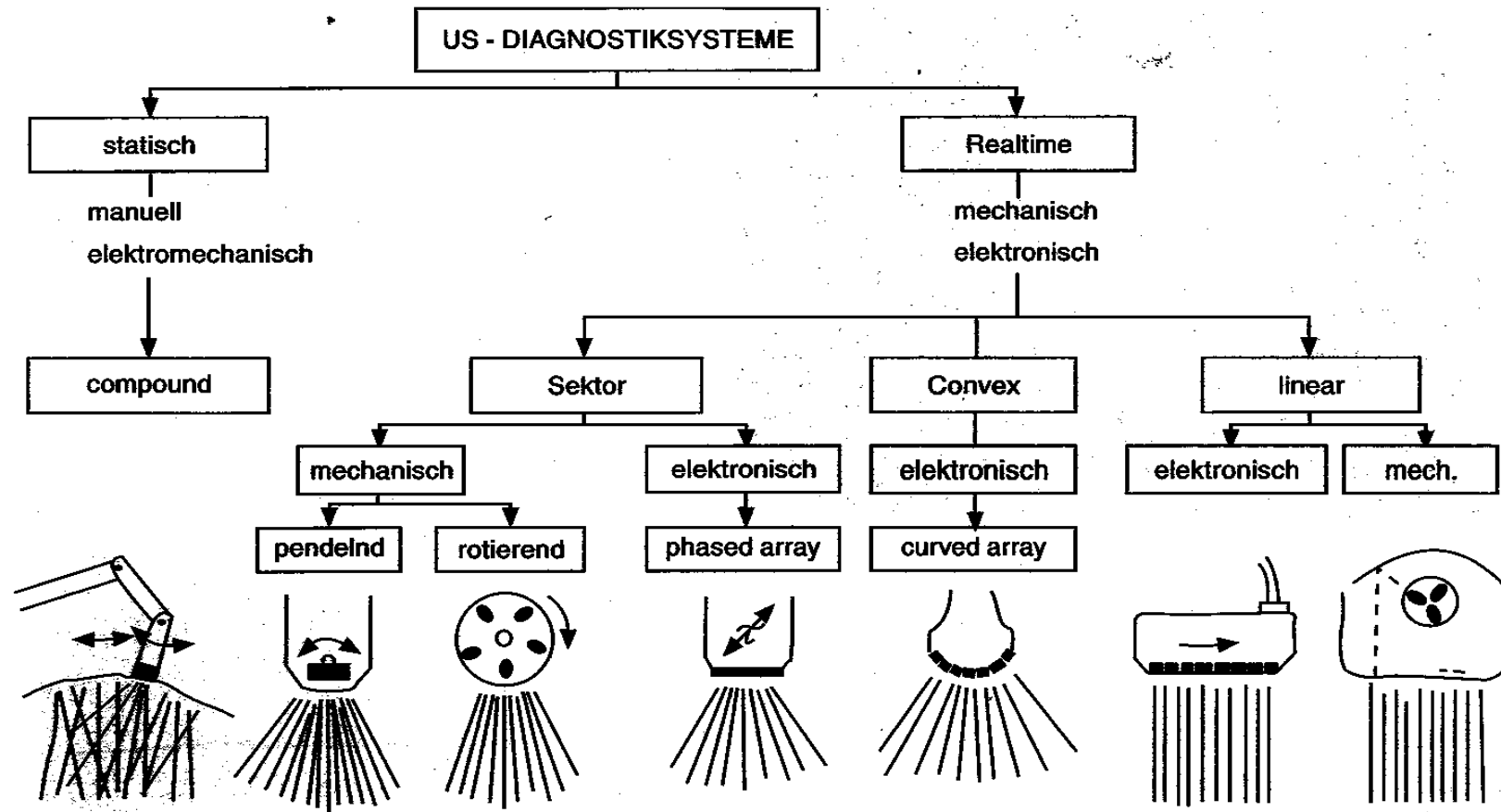
Mechanische Sonden:

- Sonde enthält 1-5 Kristalle
- Für 2D-Darstellung werden Kristalle mechanisch auf einer Ebene ausgelenkt
- Mechanischer Verschleiß vs. hohe Frequenzen (bis 50 MHz)
- Pendelbewegung (Wobbler) oder Rotation

Elektronische Sonden:

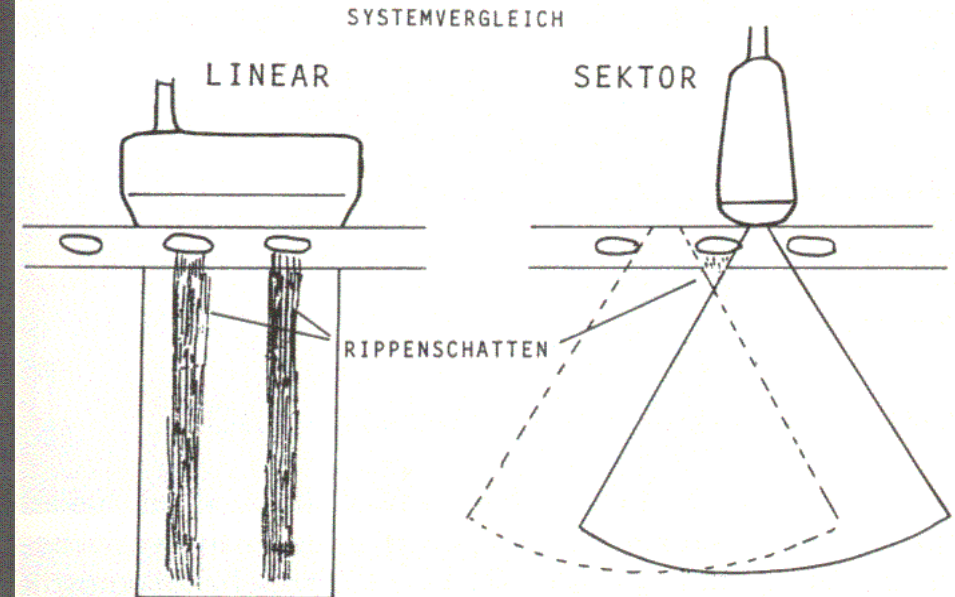
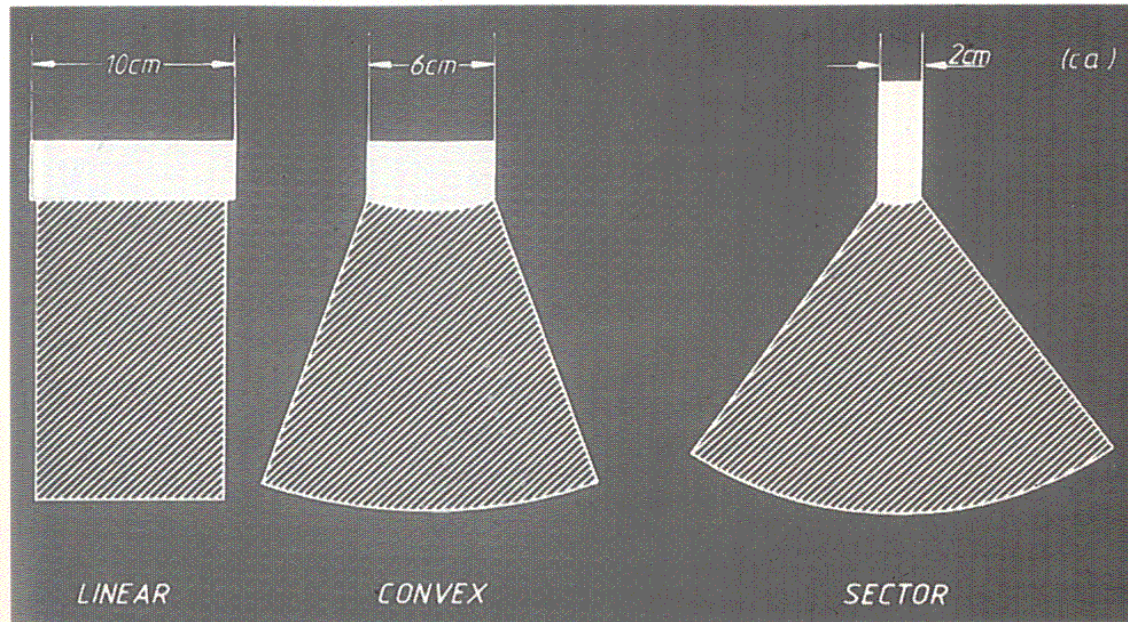
- Große Anzahl von Kristallen (ca. 400 für Linearsonden)
- Gruppen von Kristallen erzeugen Wellenfront
- Fokuspunkterzeugung durch zeitlichen Versatz der Ansteuerung

Ultraschallsondentypen



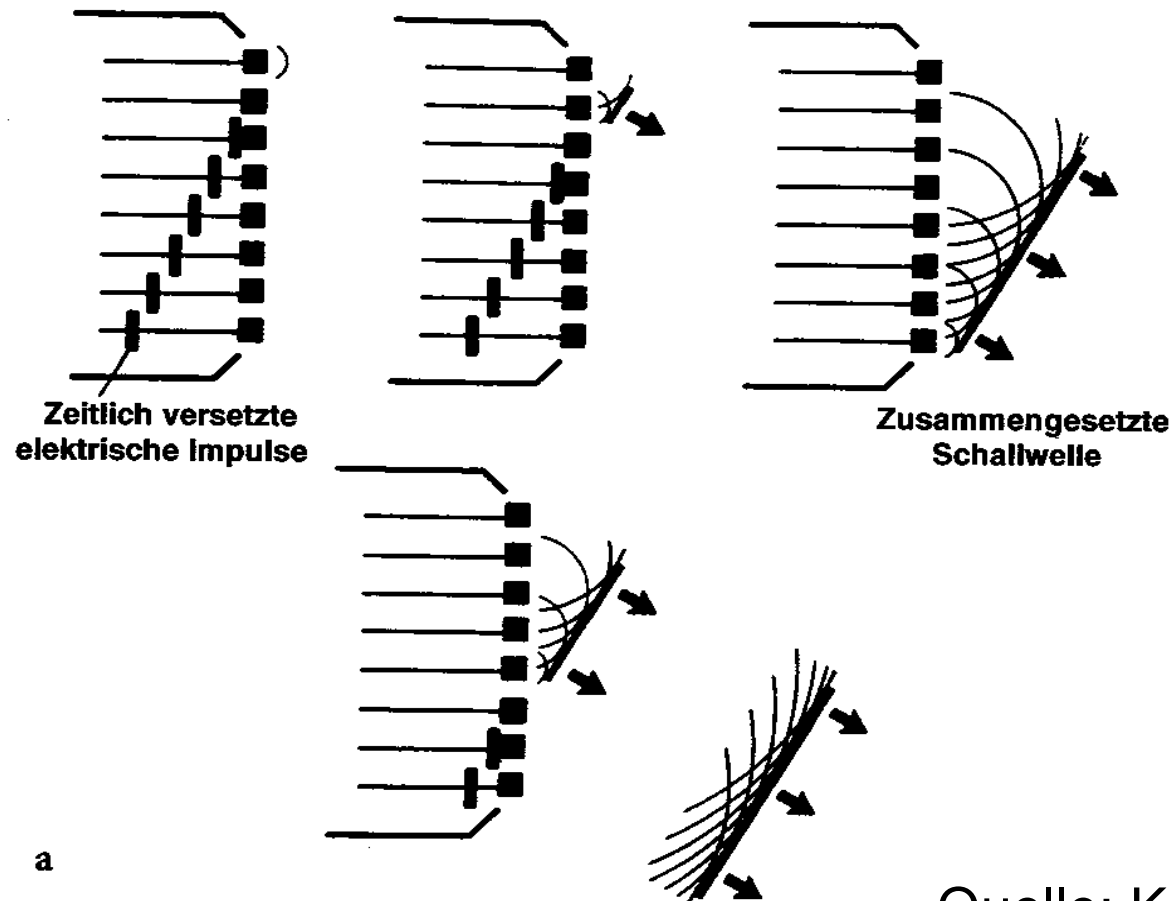
Quelle: Kramme, 1997

Sonden - Abstrahlcharakteristik



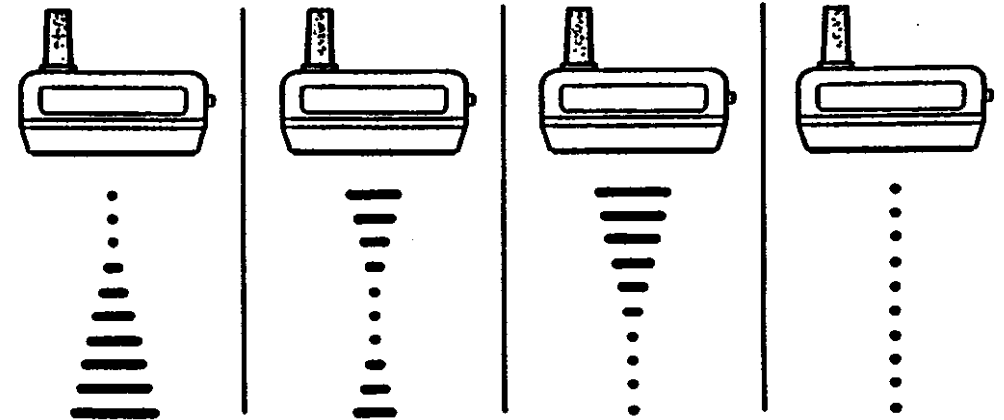
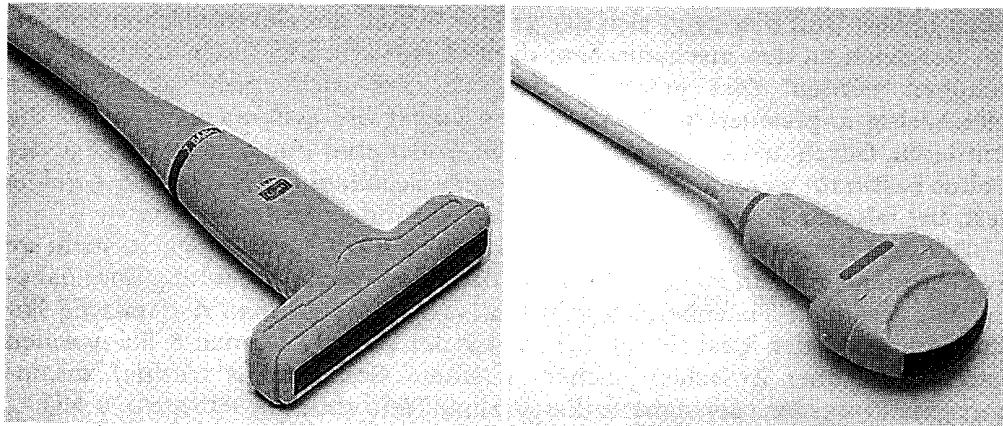
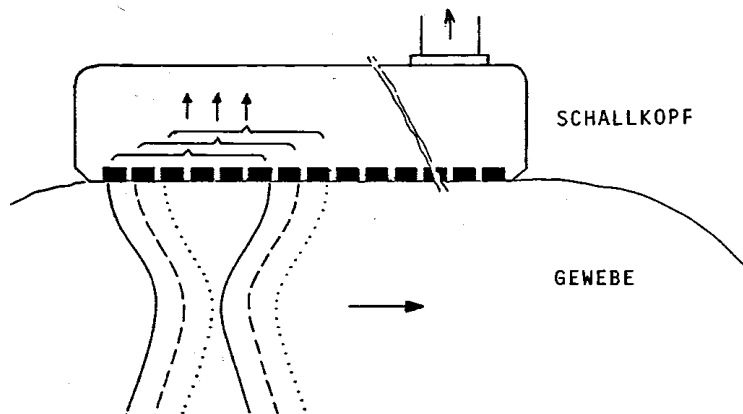
Quelle: Kramme, 1997

Schallwellenerzeugung - Elektronische Sonden



Quelle: Kramme, 1997

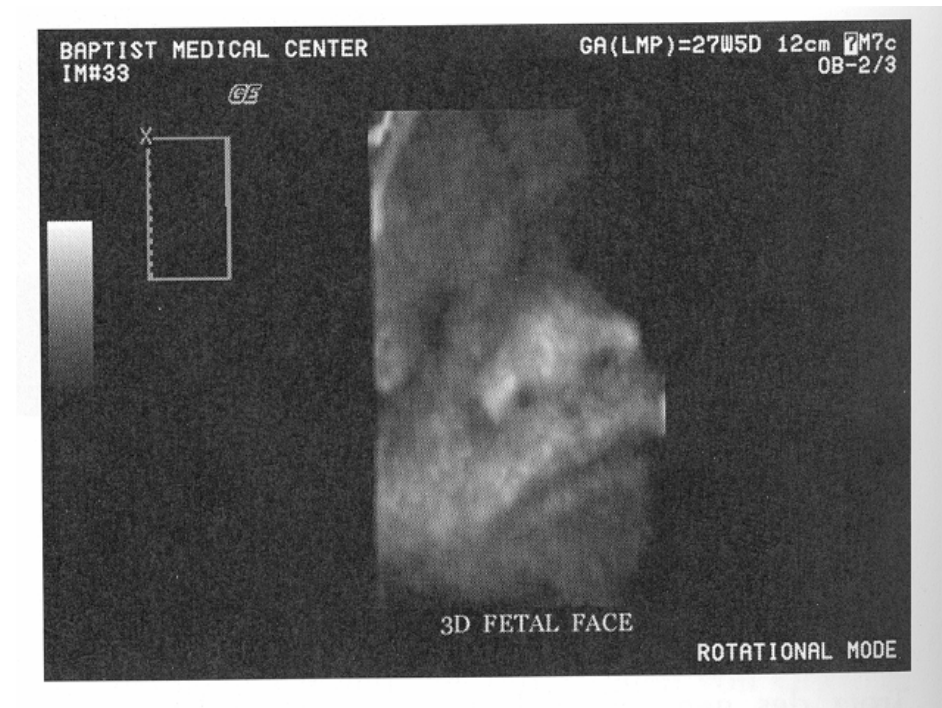
Linearsonde - Fokus



Quelle: Kramme, 1997

3D Ultraschall

- Räumliche Zuordnung der Schnittbilder
- Handmodus
- Getrackt
- Surface Rendering nur bei starkem Kontrast

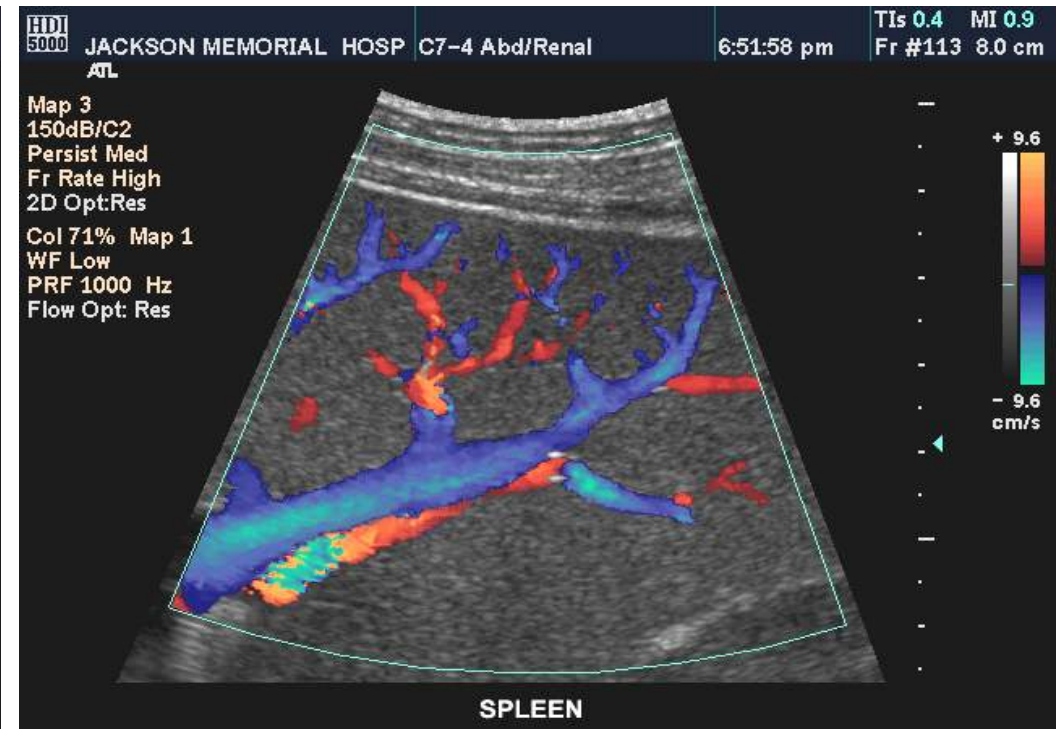


Ultraschallsysteme



Quelle: www.kretztechnik.de,
2001

Ultraschallbilder



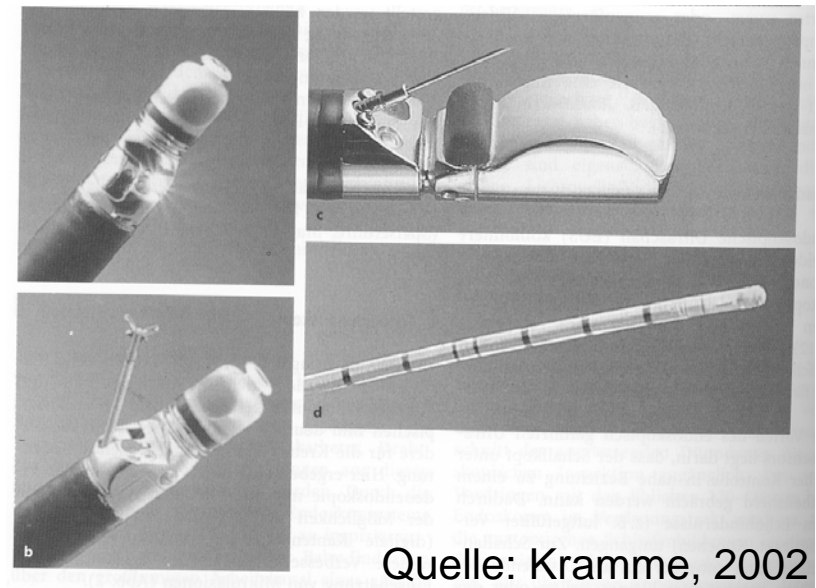
Ultraschallaufnahme der Leber im B-Mode und Farbdoppleraufnahme der Leber; Quelle: www.philips.com, 2001

Ultraschall - Trends

- Sonden mit integrierter Elektronik und Firewire Anschluss
- Invasive Sonden
- Integrierte Biopsiesysteme
- Kodierter Ultraschall
- Verbesselter 3D Ultraschall
- Automatische Segmentierung (Echtzeit)



Quelle: MiMed



Quelle: Kramme, 2002

Literatur

- Lehmann, T., W. Oberschelp, E. Pelikan, R. Repges: Bildverarbeitung in der Medizin - Grundlagen, Modelle, Methoden und Anwendungen, Springer-Verlag Berlin, 1997.
- Kramme, R. (Hrsg.): Medizintechnik - Verfahren, Systeme und Informationsverarbeitung. Springer-Verlag Berlin, 1997.
- Dössel, o. Bildgebende Verfahren in der Medizin. Springer-Verlag Berlin, 2000.
- www.siemens.de (Röntgen, CT, MRT, Ultraschall, PET)
- www.philips.com (Röntgen, CT, MRT, Ultraschall)
- www.ziehm-eu.de (Röntgen, C-Bogen)
- www.kretztechnik.de (Ultraschall)
- www.adaclabs.com (PET, SPECT)
- www.sirona.de (Dentalröntgen)